



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH MODELÁŘSKÉ CNC FRÉZKY

DESIGN OF THE HOBBY CNC MILLING MACHINE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Hrala

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Vojtěch Štěpánek

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Adam Hrala**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Vojtěch Štěpánek**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

NÁVRH MODELÁŘSKÉ CNC FRÉZKY

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

CNC stroj určený pro modelářské dílny jistě nemá takové nároky na přesnost či tuhost při obrábění jako komerční stroje. Zůstává však komplexním zařízením, které musí splňovat požadavky na bezpečnost provozu a také na provozní komfort z hlediska hluku či prašnosti v okolí stroje. Bakalářská práce by měla průřezem od mapování současně dostupných komponentů či celých zařízení užívaných při hobby aplikacích přes rozvahu nad možnými riziky spojenými s užíváním stroje až po návrh vlastní konstrukce, jež bude doplněna o konceptuální návrh bezpečnostních krytů, systému odstranění třísek či prachu vzniklého během řezného procesu a řízení celého stroje.

Cíle bakalářské práce:

Rešeršní zpracování současného stavu poznání v oblasti hobby CNC strojů.
Návrh několika konceptuálních možností z pohledu kinematiky, materiálu konstrukce, použitých komponent, aj.
Stručná analýza možných rizik spojených s provozem CNC frézek.
Definice kritérií výběru pro volbu optimální varianty.
Detailní zpracování zvoleného konceptuálního řešení doplněné o základní technické výpočty.
Výkres sestavy zkonstruovaného zařízení.
Hodnocení dosažených výsledků.
Závěr a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. Konstruování strojních součástí. V Brně: VUTIUM, 2010, xxv, 1159 s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

BORSKÝ, Václav. Základy stavby obráběcích strojů. 1. vyd. 145 s. 1986 ISBN 55-600-86

BERNÍK, P., Píč, J. Obráběcí stroje - konstrukce a výpočty. 2. vyd. Praha: SNTL, 1986. 573 s. ISBN 04-235-86.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Zaměření bakalářské práce se týká návrhu CNC modelářské frézky. Součástí je znázornění kinematik jednotlivých typů, operační systémy pro tyto stroje, analýzy nebezpečí a průzkum trhu. V druhé části je vytvořen návrh celkového zařízení z pohledu pohonu a vedení jednotlivých os, použité elektroniky a návrh konstrukce stroje doplněné o výkres sestaveného zařízení.

ABSTRACT

The focus of the bachelor's thesis concerns the design of a CNC model milling machine. It includes a representation of the kinematics of individual types, operating systems for these machines, hazard analysis and market research. In the second part there is a design of the overall device from the point of view of the drive and guidance of individual axes, the electronics used and a design of the machine structure supplemented by a drawing of the assembled device.

KLÍČOVÁ SLOVA

CNC frézka, kinematika frézek, pohonné systémy, elektronika, návrh konstrukce

KEYWORDS

CNC milling machine, kinematics of milling machine, propulsion systems, electronics, construction design

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRALA, Adam. *Návrh modelářské CNC frézky* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132128>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Vojtěch Štěpánek.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu této práce, za jeho pevné nervy a ochotu poradit.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Vojtěcha Štěpánka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne

.....

Hrala Adam

OBSAH

1	ÚVOD	11
2	FRÉZKY	12
2.1	Portálové frézky	12
2.1.1	Konstrukce typu horní gantry	13
2.1.2	Konstrukce typu spodní gantry	13
2.1.3	Konstrukce s pohyblivým stolem	13
3	BEZPEČOST CNC STROJŮ.....	14
3.1	Analýza rizik spojených s provozem CNC strojů.....	14
3.2	Nebezpečí u CNC strojů	15
4	ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY	15
4.1	GRBL.....	16
4.2	LinuxCNC.....	16
4.3	Mach 3	16
4.4	Armate	17
4.5	Heidenhain	17
5	STROJE SOUČASNÉ PRODUKCE.....	18
5.1	Hobby CNC gravírovací frézka V303	18
5.2	CNC Frézka 3020 T 3D.....	19
5.3	CNC Frézka 3040 Z-DQ 3D(4D)	20
5.4	Frézka KOMPAS H400BASIC-710W	21
5.5	CNC Frézka KOMPAS H400GS KIT	22
6	ZHODNOCENÍ PRŮZKUMU TRHU	23
7	KONCEPČNÍ NÁVRHY	24
7.1	Návrh A.....	24
7.2	Návrh B.....	24
7.3	Návrh C.....	25
8	VOLBA POŽADAVKŮ NA STROJ	25
8.1	Volba výsledné varianty	25
9	KONSTRUKČNÍ NÁVRH	26
9.1	Určení řezných sil a momentů	26
9.1.1	Frézování	27
9.1.2	Vrtání.....	28
9.2	Volba vřetena.....	29
9.3	Pohonné systémy	31
9.3.1	Pohybový šroub osy Z	31
9.3.2	Pohybový šroub osy Y	32
9.3.3	Pohybový šroub osy X.....	34
9.3.4	Volba motorů	35
9.4	Vedení pojezdových os	36
9.4.1	Kontrola vedení	36
9.5	Vřeteník a saně.....	40
9.6	Příčník.....	40
9.7	Rám stroje	41

10	NÁVRHY BEZPEČNOSTNÍCH PRVKŮ.....	43
10.1	Krytování kuličkových šroubů	43
10.2	Krytování ložiskových domečků	43
10.3	Ostatní bezpečnostní prvky	43
11	ZHODNOCENÍ A DISKUZE	44
12	ZÁVĚR.....	45
13	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	46
14	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	48
14.1	Seznam tabulek.....	50
14.2	Seznam obrázků.....	51
15	SEZNAM PŘÍLOH.....	52

1 ÚVOD

Modelářské CNC frézky jsou strojní zařízení, které se používají k obrábění materiálů především v domácí „hobby“ výrobě, ale najdou se i typy těchto frézek, které najdu uplatnění i v profesionální výrobě. Jedná se o stroje menších rozměrů (řádově v stovkách milimetrů), určených primárně k uchycení na stůl, nebo jinou pracovní plochu. Mezi klasické materiály, které lze tímto typem stroje obráběny patří dřevo, plasty a slitiny hliníku, avšak mohou také sloužit k obrábění oceli.

Cílem bakalářské práce je návrh modelářských CNC frézek, od materiálů pro rám stroje, kinematiky pojezdových os, až po nebezpečí spojená s provozem CNC strojů. Součástí bude také průzkum trhu současně nabízených možností plně sestavených produktů.

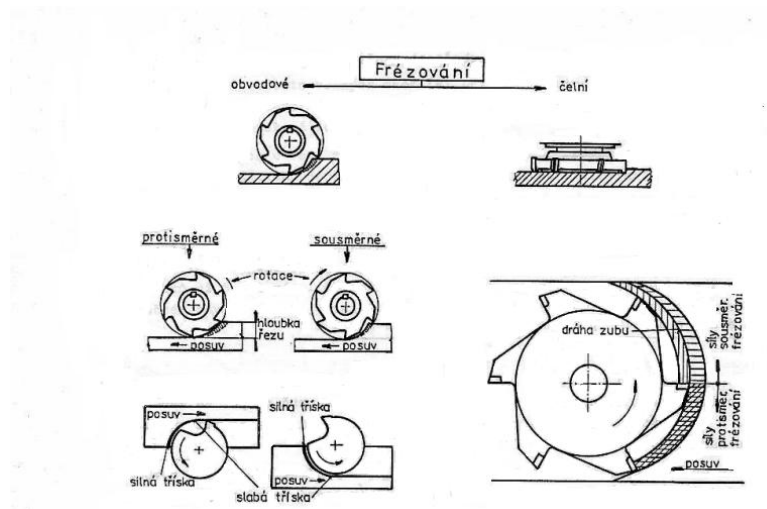
Hlavním kritériem při nákupu/návrhu zařízení jsou požadavky koncového zákazníka. Stroj lze zakoupit jako již sestavený celek, který má pevně dané vlastnosti, nebo lze stroj sestavit z jednotlivých dostupných dílů, tak aby odpovídal požadavkům. Stavba stroje z dostupných dílů však většinou vykazuje jisté nedostatky, jako je například nedostatečná tuhost konstrukce, což vede ke snížení přesnosti obrábění. Důvodem k vlastnímu sestavení zařízení bývá menší cena. Cena je dalším velice důležitým parametrem při nákupu, dostupné zařízení se pohybují v řádech desítek tisíc až do statisíců korun.

Mezi ostatní požadavky může patřit maximální velikost pracovního prostoru, obráběný materiál, hlučnost, celková velikost stroje, hmotnost, příkon. Všechny tyto parametry ovlivňují celkový návrh zařízení stejně tak výslednou cenu.

2 FRÉZKY

Frézky jsou jedním z nejrozšířenějších a nejvýkonnějších strojů pro třískové obrábění. Jsou určeny pro obrábění rovinných ploch, ale i rovných a zakřivených drážek, závitů atd.[2]

Frézování je rozděleno podle orientace nástroje vůči obrobku na frézování obvodové a frézování čelní. Dále se dělí podle orientace hlavních pohybů (rotační řezný pohyb a posuvný pohyb) na frézování sousledné (sousměrné) a nesousledné (protisměrné). Každý z typů frézování má svoje výhody i nevýhody, typ použitého frézování závisí na požadavcích výroby.[2]



Obr. 1) Principy frézování [2]

Frézky se dělí podle konstrukční koncepce a druhu frézovacích operací na:

- Frézky konzolové
- Frézky stolové
- Frézky rovinné
- Frézky speciální (kopírovací, na závity, atd.)

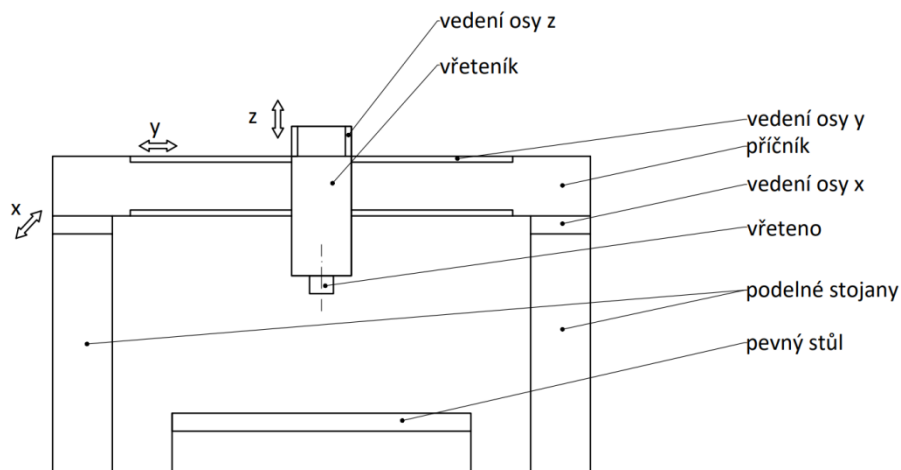
Vzhledem k zadání bakalářské práce se zde budeme věnovat pouze typům, které jsou vhodné pro konstrukci modelářské CNC frézky.[2]

2.1 Portálové frézky

Hlavním znakem těchto frézek je portál., který je tvořen dvěma stojany a příčnickem. V dnešní době používáme portály typu spodní gantry, horní gantry a stroje s pohyblivým stolem. Každá z těchto tří konstrukcí má jiné preference pro každý konkrétní případ, lze provádět jejich porovnání například podle tuhosti, dostupnosti pravoúhlého prostoru a požadavků na zastavěnou plochu. [1]

2.1.1 Konstrukce typu horní gantry

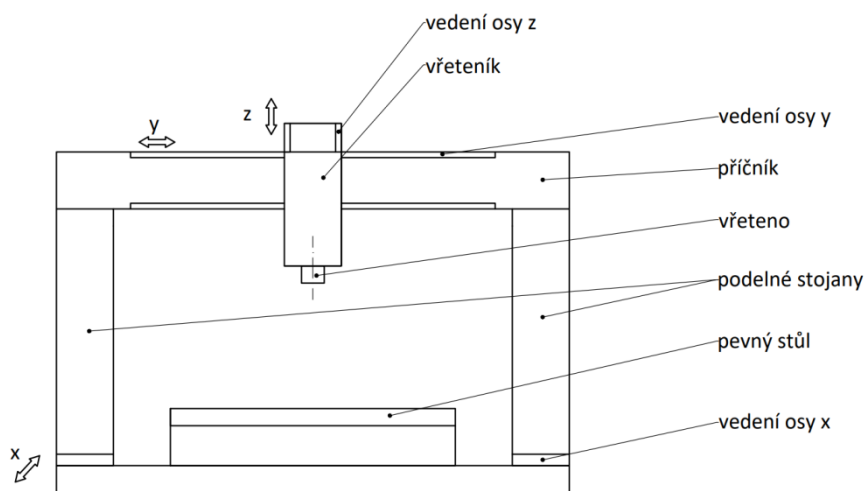
U této konstrukce je pevný stůl obestaven dvěma nepohyblivými stojany. Pohyb vykonává příčník, který se pohybuje na vedení, které je uloženo na horních plochách nepohyblivých stojanů. Výhodou této konstrukce jsou menší nároky na zastavěný prostor. [1]



Obr. 2) Schéma provedení horní gantry

2.1.2 Konstrukce typu spodní gantry

U této konstrukce se portál pohybuje kolem pevného stolu. Portál je tvořen dvěma stojany a pevnou příčkou (příčníkem). Své využití nachází převážně při obrábění tvarově složitých součástí. Výhody a nevýhody jsou srovnatelné s konstrukcí horní gantry. Jedním z rozdílů je nižší tuhost než konstrukce horní gantry. [1]

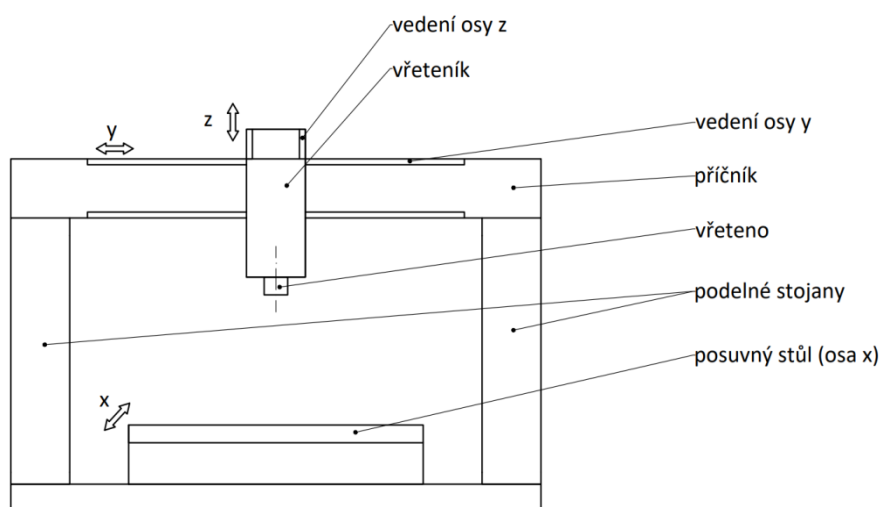


Obr. 3) Schéma provedení spodní gantry

2.1.3 Konstrukce s pohyblivým stolem

Konstrukce s pohyblivým stolem sestává z pevného portálu a většinou pevným příčníkem. Stůl vykonává pohyb (osa x) mezi stojany rámu. Výhodou této metody je vysoká

přesnost, mezi nevýhody se pak řadí větší náročnost na zastavenou plochu a omezení váhy obrobku. [1]



Obr. 4) Schéma provedení s posuvným stolem

3 BEZPEČOST CNC STROJŮ

Označení těchto obráběcích strojů vyplívá z anglické zkratky CNC „Computer Numeric Control“. Jedná se tedy o zařízení plně řízené počítačem, který vykonává pohyby jednotlivých komponent podle předem zadaného programu. Zařízení typu CNC se vyznačují vysokou rychlostí a přesností prováděných operací, jelikož se však jedná o stroj řízený počítačem nastává zde mnoho potenciálních nebezpečí spojených s provozem stroje.

Uvedení nového CNC stroje do provozu a na trh je složitý proces, který vyžaduje paralelní vývojové činnosti v průběhu celého vývoje i během provozu. Jednou z hlavních částí tohoto procesu je management rizik, který má za úkol zajistit splnění všech legislativních požadavků kladených na bezpečnost stroje při současném dodržení požadavků zákazníka a výrobce. [1]

3.1 Analýza rizik spojených s provozem CNC strojů

Základní požadavky udává směrnice 2006/42/ES, která definuje základní terminologie a metodologii používanou k dosažení bezpečnosti strojních zařízení a uvádí technické zásady postupu posouzení rizik pro všechny životní cykly zařízení. Při provádění analýzy rizik je potřeba brát v potaz složitost strojního zařízení stejně jako fakt že se skládá z mnoha pohyblivých součástí, které mohou příčinou škody na majetku, zdraví či škod na životním prostředí. Analýzu je tedy třeba provést pro celý životní cyklus stroje. [1]

Etapy životního cyklu stroje jsou:

- Vývoj/konstrukce;
- Výroba;
- Převážka, montáž, instalace;
- Uvedení do provozu;

- Provoz stroje (seřizování, údržba...);
- Vyřazení z provozu a likvidace;

Je také nutné brát v potaz všechny provozní stavy stroje, předpokládat neodbornost obsluhy nebo případné poruchy stroje. [1]

3.2 Nebezpečí u CNC strojů

Příčinou nebezpečné situace může být od nešťastné náhody až po úmyslné obcházení bezpečnostních předpisů stroje. Mezi hlavní nebezpečí patří:

- Rychle letící objekty:

Při špatném upevnění obrobku může dojít k jeho vymrštění jako celku případně jeho částí, to samé platí pro nástroj. Další nebezpečné “projektily” mohou vzniknout při kolizi nástroje s obrobkem nebo rámem stroje.

- Zachycení případné vtažení do pohyblivých částí stroje:

Může dojít k zachycení a namotání oděvů, šperků a vlasů do pohyblivých částí stroje.

- Stlačení nebo rozdrcení:

Mezi pohyblivými a pevnými částmi stroje případně pohyblivými. U modelářské CNC frézky může toto nebezpečí představovat i stroj jako celek například při špatném uložení stroje může dojít k jeho pádu nebo posunutí.

- Řezné rány:

Zvláště při obrábění kovů hrozí vznik ostrých hran a třísek. Dalším zdrojem těchto zranění může být nástroj.

- Úraz elektrickým proudem
- Hluk
- Možnost vzplanutí

4 ŘÍDÍCÍ SYSTÉMY

Řídicí systém lze považovat za mozek CNC obráběcího stroje. Výkon, rychlost zpracování dat, spolehlivost a náročnost obsluhy patří mezi faktory, které ovlivňují rychlost nebo kvalitu pracovních operací. Volba správného operačního systému je jednou z hlavních částí návrhu stroje protože ani nejlepší stroj nemůže dosáhnout plného výkonu s nevhodným operačním systémem stejně tak nejlepší operační systém nevyplní mechanické a kinematické nedostatky stroje. [3]

Mezi nejznámější a nejvíce rozšířené systémy patří Japonský FANUC a německý SIEMENS. Tyto programy nachází uplatnění v profesionální výrobě i kusových zakázkách. Vzhledem k jejich ceně však tyto programy nebudeme zahrnovat do návrhu modelářské CNC frézky. Většina výrobců má v nabídce několik různých operačních systémů, ze kterých si zákazník může vybrat tu nejlepší variantu vzhledem k jeho požadavkům.[3]

V následující kapitole je rozebráno několik programů, které mohou najít své uplatnění v návrhu a konstrukci modelářské CNC frézky.

4.1 GRBL

Volně dostupný interpret G-kódů a ovladač krokových motorů pro CNC stroje, určený pro platformu Arduino. Program je určen hlavně pro ty, kteří chtějí omezit náklady na ovládání CNC stroje poháněného krokovými motory na minimum. Komunikaci s programem lze uskutečnit přes USB port a nevyžaduje od nadřazeného počítače zvláštní vlastnosti a výkon. [4]

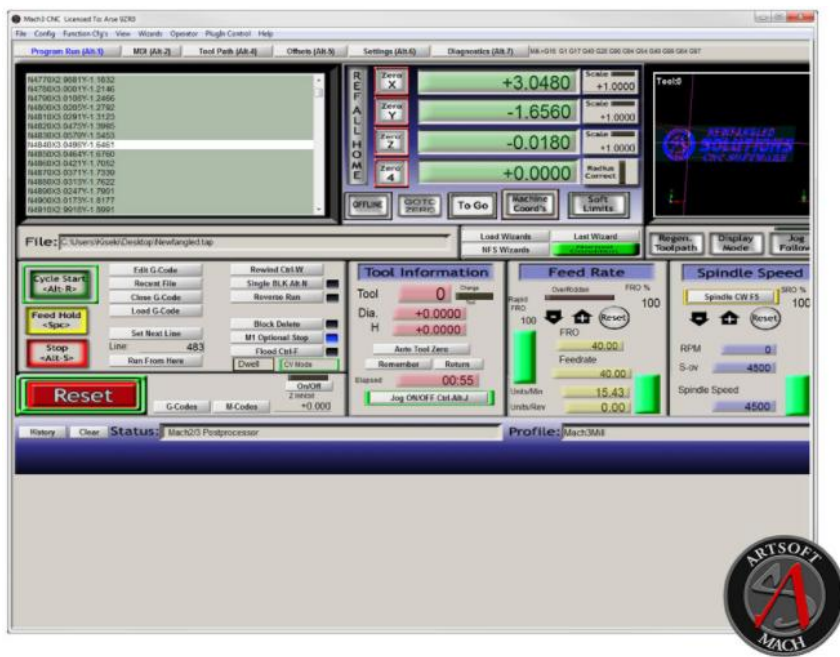
4.2 LinuxCNC

Volně dostupný operační systém vyvíjený dobrovolnými vývojáři. Jedná se o modifikaci Unbutu. Program lze využít k ovládání soustruhů, frézek, 3D tiskáren, atd. Výhodou je kompatibilita s většinou kontrolních rozhraní. [7]

4.3 Mach 3

Program vyvíjený firmou Newfangled Solutions, patří mezi nejpopulárnější softwary pro ovládání CNC strojů na trhu, nachází uplatnění jak v komerční sféře, tak i v oblasti hobby CNC strojů. Software pracuje na základě G-kódu a umožňuje ovládání téměř všech typů strojů, které mají maximálně 6 os. (frézky, gravírky, plazmové řezačky, soustruhy, řezačky polystyrenu). [6] Požadavky na výkon ovládacího zařízení jsou velice příznivé, vzhledem k technologii dnešní doby lze k ovládání použít téměř každý počítač s paralelním portem. Pořizovací cena licence se pohybuje kolem 175 \$[5] nebo 5 299.00 Kč (s DPH). [6]

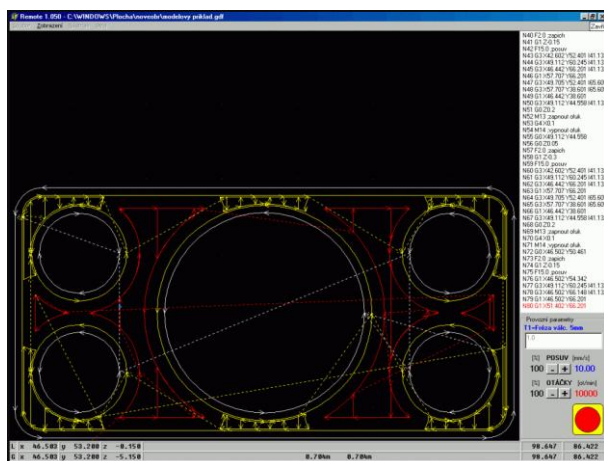
Pro tento program existuje velké množství dodatečných pluginů jako je například Screensets nebo LazyCam. Je také dostupný nástupce tohoto programu s názvem Mach 4. [5]



Obr. 5) Prostředí programu Mach 3 [5]

4.4 Armote

Armote je 2D/3D řídicí systém pro Windows s grafickým zobrazením dráhy a polohy nástroje za chodu stroje. Program je schopný pracovat s širokým spektrem vstupních souborů (G-kódy, GDF, NCP, atd.) a podporuje připojení ručního ovladače MPG. Komunikace mezi strojem a PC probíhá pomocí rozhraní RS232. Pokud PC není tímto portem vybaven, lze použít převodník USB/RS232. [8]



Obr. 6) Hlavní okno programu při obrábění [8]

4.5 Heidenhain

Rozsáhlý program pro všechny aplikace, které vyžadují nejvyšší možnou přesnost, opakovatelnost, reprodukovatelnost a bezpečné řízení procesů. Program nabízí testování externě vytvořených programů a je možnost využití programovací stanice připojené ke stroji. Nabízí také možnost připojení ručního kolečka k pohybu jednotlivých os. [24]



Obr. 7) Řídicí stanice TNC 640 [24]

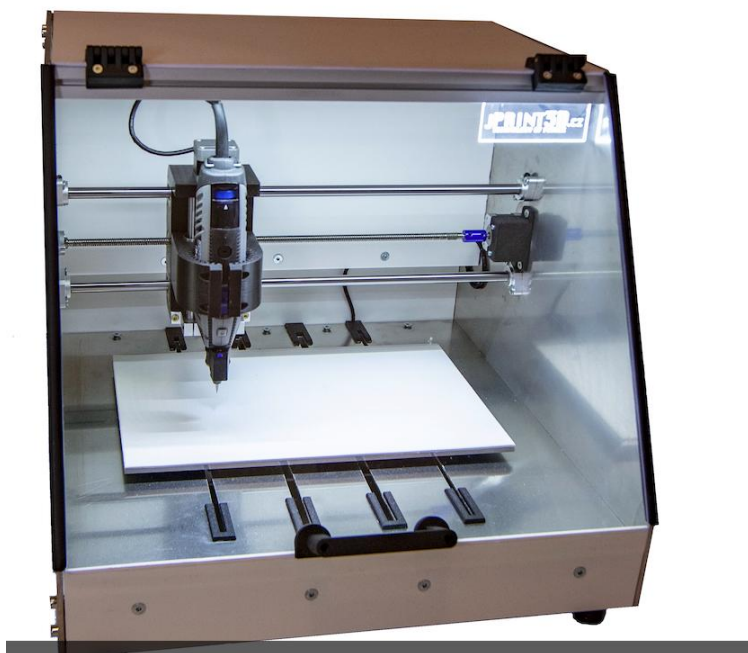
5 STROJE SOUČASNÉ PRODUKCE

Dostupnost a variabilita dostupných zařízení je v dnešní době velká, není tedy problém najít stroj, který bude splňovat požadavky koncového zákazníka.

V následující kapitole se zaměříme na současnou nabídku CNC strojů na trhu. Hlavním cílem bude vybrat stroje, které se hodí pro hobby využití, nebudou zde tedy zmiňované velké nebo příliš drahé stroje určené pro profesionální sféru. Vzhledem k celkové podobnosti strojů dostupných na trhu zde bude uvedeno pouze několik zástupců jednotlivých vývojových sérií.

5.1 Hobby CNC gravírovací frézka V303

Stroj od firmy jPRINT 3D založený na principu 3D tiskárny. Stroj je vybaven krokovými motory a posuv je řešen pomocí trapézových šroubů. Frézka je též vybavena ochrannými kryty z hliníku a plexiskla. Stroj je vhodný k obrábění měkkých materiálů (plexi, PVC, dřevo, atd.). [11]



Obr. 8) Hobby gravírovací frézka V303 [11]

Tab. 1) Parametry stroje V303 [11]

Rozměry zařízení	430x530x470 mm
Pracovní prostor	300x250x50 mm
Vřeteno	Dremel 175W/HQuDJ300w
Tolerance	<0,08 mm
Motory	Nema17
Maximální rychlost	2000 mm/min
Hmotnost	18 kg
Cena bez DPH	27 642 Kč

5.2 CNC Frézka 3020 T 3D

Zařízení vhodné k řezání nebo gravírování měkkých materiálů (plexi, PVC, dřevo, atd.) díky své vysoké přesnosti. Stroj je možno využít ke gravírování hliníku a ostatních měkkých kovů. Vedení je realizováno pomocí trapézových šroubů. Výrobce: Inne [9]



Obr. 9) CNC Frézka 3020 T 3D [9]

Tab. 2) Parametry stroje 3020 T 3D [9]

Rozměry zařízení	550x400x350 mm
Pracovní plocha	200x300x60 mm
Provedení rámu	Aluminium 6063 i 6061
Krokové motory: dvoufázové	1.42A-2.0A
Vřeteno	200W, ER11 (3,175 mm)
Přesnost vřetene: radiální	<0.03 mm
Přesnost vřetene: axiální	<0.01 mm
Otáčky vřetene	300-8000 RPM
Maximální rychlost polohování	4000 mm/min
Přesnost polohování	0.05 mm
Řezná rychlost	0 – 2000 mm/min
Zabezpečení	Nouzový vypínač
Podporované formáty	G code/.nc/.ncc/.tab
Komunikační rozhraní	PC port LPT, port USB
Napájecí napětí	220 V
Hmotnost	24 kg
Cena bez DPH	15 082 Kč

5.3 CNC Frézka 3040 Z-DQ 3D(4D)

Nejnovější a nejmodernější stroj typu 3040. Frézka je vybavena vedením pomocí kuličkových šroubů a pracovní stůl umožňuje upnutí obrobků delších, než je pracovní prostor frézky. Lze pracovat s materiály jako je dřevo, PVC, hliník, sádra a mnoho dalších. Výrobce: Inne [10]



Obr. 10) CNC Frézka 3040 Z-DQ 3D(4D) [10]

Tab. 3) Parametry stroje 3040 Z-DQ 3D(4D) [10]

Rozměry zařízení	610x480x400 mm
Pracovní plocha	300x400x75 mm
Provedení rámu	Aluminium 6063 i 6061
Krokové motory: dvoufázové	2.5A
Vřeteno	500W, ER11
Přesnost vřetene: radiální	<0.03 mm
Přesnost vřetene: axiální	<0.01 mm
Otáčky vřetene	300-8000 RPM
Maximální rychlost polohování	4000 mm/min
Přesnost polohování	0.05 mm
Řezná rychlost	300 – 2000 mm/min
Zabezpečení	Nouzový vypínač
Podporované formáty	G code/.nc/.ncc/.tab
Komunikační rozhraní	PC port LPT
Napájecí napětí	220 V
Hmotnost	28 kg
Cena bez DPH	22 578 Kč

5.4 Frézka KOMPAS H400BASIC-710W

Stroj od firmy CauCau. Nejmenší model 2D/3D frézky s uhlíkovým motorem vřetene. Vhodný k frézování, gravírování a značení měkkých materiálů (plexi, PVC, dřevo, atd.). Zařízení je vybaveno krokovými motory a trapézovým vedením. [12]



Obr. 11) CNC Frézka KOMPAS H400BASIC-710W [12]

Tab. 4) Parametry stroje KOMPAS H400BASIC-710W [12]

Rozměry zařízení	750x650x750 mm
Pracovní plocha	300x400x120mm
Provedení rámu	Svařenec
Vřeteno	Uhlíkový 710W
Otáčky vřetene	10000-30000 RPM
Opakovatelnost polohování	0.03 mm
Maximální rychlost	800 mm/min
Pohon	Krokové motory Nema23
Hmotnost	60kg
Cena bez DPH	46 451 Kč

5.5 CNC Frézka KOMPAS H400GS KIT

Stroj od firmy CauCau. Nejmenší model kitu 2D/3D CNC frézky. Jedná se pouze o konstrukci stroje, která je připravena na osazení elektronikou. [13]

Osazení provádí koncový zákazník, má tak větší prostor pro splnění svých požadavků než u plně sestavených strojů. Je však třeba myslet na to, že absence elektroniky se promítne do výsledné ceny zařízení.



Obr. 12) CNC Frézka KOMPAS H400GS KIT [13]

Tab. 5) Parametry stroje KOMPAS H400GS KIT [13]

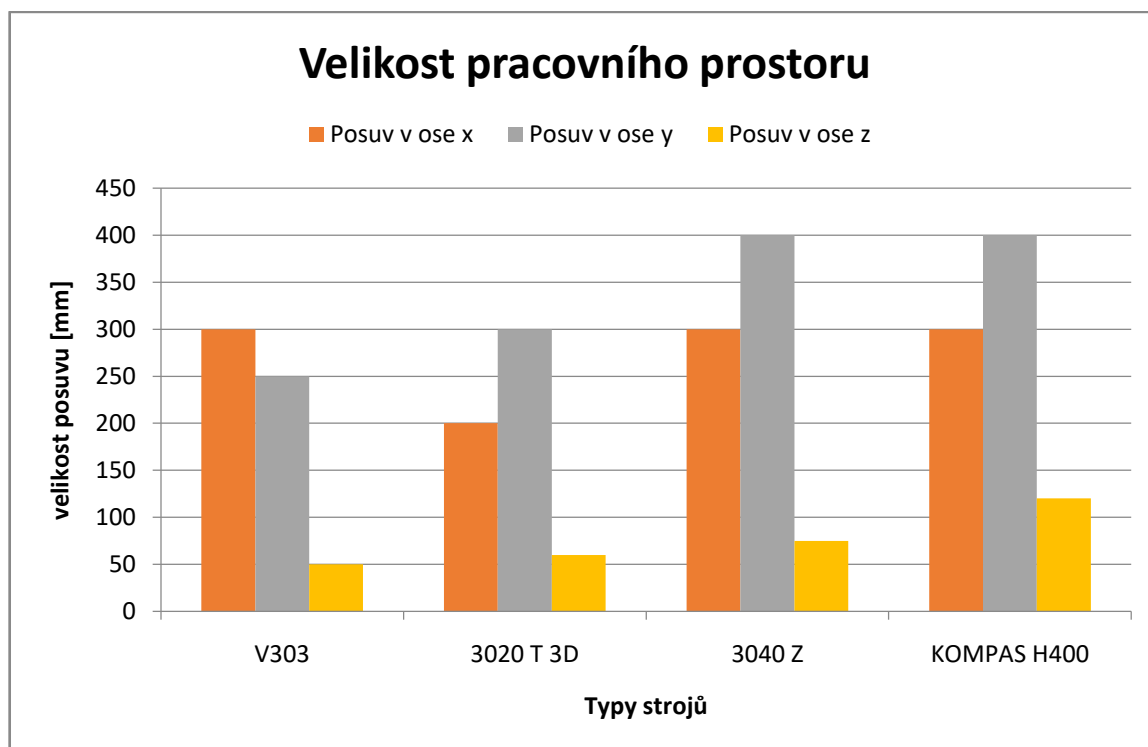
Celkové rozměry	750x650x750 mm
Pracovní plocha	300x400x120 mm
Provedení rámu	Svařenec
Hmotnost	40 kg
Cena bez DPH	27 210 Kč

6 ZHODNOCENÍ PRŮZKUMU TRHU

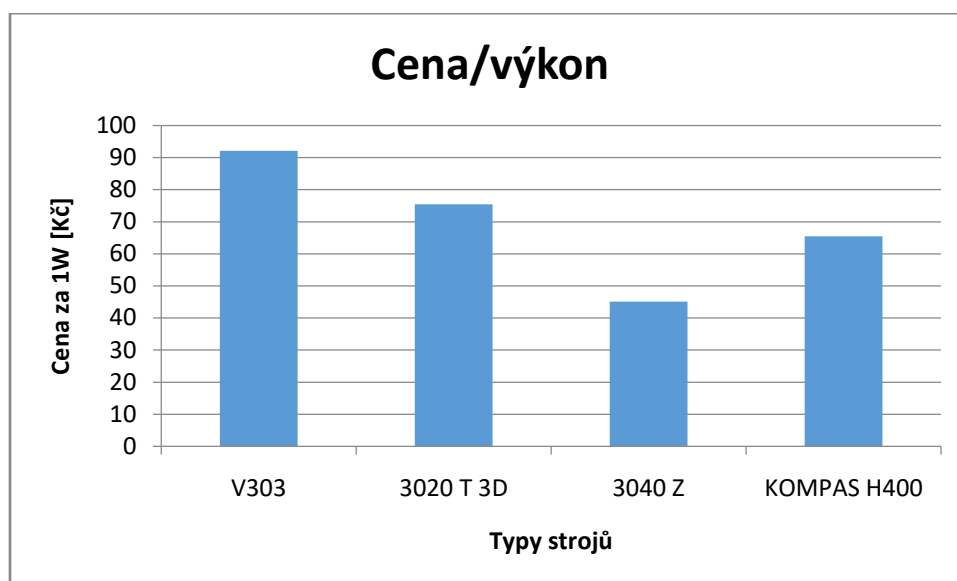
V této kapitole porovnáme výše zmíněné stroje podle některých základních parametrů. Všechny zmíněné stroje jsou vhodné k frézování a gravírování měkkých materiálů. Zaměříme se tedy na parametry, jako jsou cena, výkon a velikost pracovního prostoru.



Obr. 13) Porovnání výkonů jednotlivých strojů



Obr. 14) Porovnání rozsahu posuvů v jednotlivých osách



Obr. 15) Poměry Cena/Výkon pro jednotlivé stroje

Z průzkumu porovnání vyplívají poměrně očekávané výsledky a to že stroj KOMPAS H400BASIC-710W dosahuje ze všech zmíněných strojů největšího výkonu vřetene a má největší pracovní prostor, ale je také nejdražší. Stroj typu 3020 T 3D dosahuje nejmenšího výkonu vřetene a má nejmenší pracovní prostor, ale je ze všech zmíněných variant nejlevnější.

Nejhůře dopadl stroj V303 jeho cena převyšuje stroj 3040 Z, který je však výkonnější a má i větší pracovní prostor, ani stroj 3020 T z hlediska výkonu vřetene a velikosti pracovního prostoru příliš nezaostává a je téměř o polovinu levnější. Jednou z výhod tohoto stroje je však vybavení ochrannými kryty už od výroby, což zvyšuje jeho bezpečnost.

7 KONCEPČNÍ NÁVRHY

V této kapitole vytvoříme několik koncepčních návrhů stroje. Bude zde předloženo několik konceptuálních návrhů z pohledu kinematiky, vedení, pohybu os a materiálu konstrukce, a elektroniky.

7.1 Návrh A

Stroj založený na kinematickém modelu stolní frézky. Lože, stojan a příčník konstruována jako odlitek. Saně a vřeteník budou tvořeny ocelovou deskou. Geometrickou přesnost pohybu zajištěna kluzným hydrostatickým vedením. Pohyb jednotlivých os pomocí kuličkových šroubů, které budou poháněny servomotory.

7.2 Návrh B

Stroj založený na kinematickém modelu horní gantry (viz. kapitola 2). Lože, stojan a příčník konstruována jako svařenec z jednotlivých ocelových dílců. Saně a vřeteník budou tvořeny ocelovou deskou. Geometrickou přesnost pohybu zajištěna valivým vedením. Pohyb jednotlivých os pomocí kuličkových šroubů, které budou poháněny krokovými motory.

7.3 Návrh C

Stroj založený na kinematickém modelu spodní gantry (viz. kapitola 2). Lože, stojan a příčník konstruována z hliníkových profilů. Saně a vřeteník budou tvořeny z hliníkových plechů. Geometrickou přesnost pohyby zajištěna valivým vedením pomocí vodících tyčí. Pohyb jednotlivých os pomocí kuličkových šroubů, které budou poháněny krokovými motory.

8 VOLBA POŽADAVKŮ NA STROJ

Výsledné zařízení by mělo být schopno obrábět hliník a jeho slitiny až do hloubky řezu 2 mm, frézku o průměru 10 mm, stejně tak plasty a dřevo. Z toho vyplívá požadavek na dostatečnou tuhost konstrukce, výkon a otáčky vřetene. K minimalizaci strojních časů by měl rychloposuv dosahovat minimálně 4500 mm/min. Stroje v dnešní době dosahují mnohem větších rychlostí, ale pro naše potřeby bude tato rychlost dostačující. V návrhu stroje by mělo být použito co nejvíce standardizovaných dílů. Rozměrově by se měl stroj umístit do prostor s normálním rozměrem dveří a být schopný připojení do 230 V sítě.

Tab. 6) Zvolené parametry

Parametr	Hodnota
Rozsah posuvu osa X	300 mm
Rozsah posuvu osa Y	250 mm
Rozsah posuvu osa Z	110 mm
Rychloposuv osa X, Y	$4500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Rychloposuv osa Z	$3000 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Opakovatelná přesnost	0,05 mm
Maximální průměr nástroje	10 mm
Elektrické připojení	230 V

8.1 Volba výsledné varianty

Podle zvolených parametrů bude vybrána nejvhodnější varianta z výše navržených koncepcí. Hodnocení bude provedeno pomocí kritérií, kterým bude přiřazena váha podle jejich významu. Varianty budou následně ohodnoceny 1(nejhorší) až 3(nejlepší). Varianta, která dosáhne nejvíce bodů, bude považována za nejlépe vyhovující.

Vybrané kritéria:

- Předpokládaná cena;
- Tuhost konstrukce;
- Zastavěná plocha;
- Vhodnost pro navržené parametry;
- Složitost konstrukce;
- Předpokládaná hmotnost;
- Přístupnost pracovního prostoru;
- Dostupnost jednotlivých modulů stroje;

Tab. 7) Volba návrhu

Kritérium	Váha kritéria	Varianta A	Varianta B	Varianta C
Tuhost konstrukce	10	3	2	1
Předpokládaná cena	8	1	2	3
Složitost konstrukce	7	1	3	3
Zastavěná plocha	6	1	3	2
Předpokládaná hmotnost	3	1	2	3
Přístupnost pracovního prostoru	3	3	1	2
Dostupnost jednotlivých modulů stroje	2	1	3	3
Výsledný součet		65	90	88

9 KONSTRUKČNÍ NÁVRH

V této kapitole se budeme zabývat detailnějším návrhem nejlépe hodnocené varianty z kapitoly 8.1, podle zvolených parametrů (tab. 6).

9.1 Určení řezných sil a momentů

Výpočet parametrů bude proveden pro operaci třískového obrábění (frézování a vrtání), dle stanovených požadavků.

Frézka by měla být schopna obrábět dřevo, plast a neželezné kovy. K výpočtům budou použity materiálové parametry hliníkových slitiny s obsahem křemíku $\geq 13\%$, které dosahují nejvyšších hodnot měrné řezné síly a tvrdosti 130 HB.

Tab. 8) Specifikace slitiny Al-Si, Si $\geq 13\%$ [15]

Parametr	Značení	Hodnota
Měrná řezná síla	k_{c1}	700 [N/mm ²]
Tvrdost materiálu	T_v	130 [HB]
Konstanta měrné řezné síly	m_c	0,25 [-]

9.1.1 Frézování

Pro výpočet řezných sil a potřebných momentů bude použita monolitní karbidová stopková fréza CoroMill 2S221-1000-150-NG H10F, určená k obrábění neželezných materiálů, od výrobce SANDVIK Coromat.[16]



Obr. 16) monolitní karbidová stopková fréza CoroMill 2S221-1000-150-NG H10F [16]

Tab. 9) Parametry pro výpočet řezných sil a momentů pro frézování [16]

Parametr	značení	Hodnota
Průměr nástroje	D_{Nf}	10 [mm]
Počet řezných hran	Z_{Nf}	2 [-]
Posuv na zub	f_z	0,08 [mm]
Hloubka záběru	a_p	2 [mm]
Šířka záběru	a_e	10 [mm]
Nástrojový úhel hlavního ostří	κ_{rf}	90 [°]
Řezná rychlost	V_{cf}	250 [m/min]

Výpočty provedeny pomocí vzorců dostupných z [27].

Otáčky vřetena

$$n_f = \frac{10^3 \cdot V_{cf}}{\pi \cdot D_{Nf}} = \frac{10^3 \cdot 250}{\pi \cdot 10} = 7958 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \quad (1)$$

Rychlost posuvu

$$v_f = n_f \cdot Z_{Nf} \cdot f_z = 7958 \cdot 2 \cdot 0,08 = 1216 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1} \quad (2)$$

Střední tloušťka třísky

$$h_m = \frac{180 \cdot \sin(\kappa_{rf}) \cdot f_z \cdot a_e}{\pi \cdot D_{Nf} \cdot \arcsin\left(\frac{a_e}{D_{Nf}}\right)} = \frac{180 \cdot \sin(90) \cdot 0,08 \cdot 10}{\pi \cdot 10 \cdot \arcsin\left(\frac{10}{10}\right)} = 0,05 \text{ mm} \quad (3)$$

Specifická řezná síla

$$k_{cf} = k_{c1} \cdot h_m^{-m_c} = 700 \cdot 0,05^{-0,25} = 1480 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (4)$$

Potřebný výkon vřetena

$$P_f = \frac{a_e \cdot a_p \cdot v_f \cdot k_{cf}}{10^6 \cdot 60} = \frac{10 \cdot 2 \cdot 1216 \cdot 1480}{10^6 \cdot 60} = 0,6 \text{ kW} \quad (5)$$

Kroutící moment

$$M_{kf} = \frac{P_f \cdot 30 \cdot 10^3}{\pi \cdot n_f} = \frac{0,6 \cdot 30 \cdot 10^3}{\pi \cdot 7958} = 0,75 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (6)$$

Řezná síla

$$F_{cf} = \frac{2 \cdot M_{kf}}{D_{Nf} \cdot 10^{-3}} = \frac{2 \cdot 0,75}{10 \cdot 10^{-3}} = 150 \text{ N} \quad (7)$$

9.1.2 Vrtání

Pro výpočet řezných sil a potřebných momentů bude použit monolitní karbidový vrták s označením 460.1-0615-031A1-XM GC34, od výrobce SANDVIK Coromat. Jedná se o univerzální nástroj použitelný k obrábění téměř všech materiálových skupin.[17]



Obr. 17) Vrták 460.1-0615-031A1-XM GC34 [17]

Tab. 10) Parametry pro výpočet sil a momentů od vrtání [17]

Parametr	Značení	Hodnota
Řezný průměr nástroje	D_{Nv}	6,15 [mm]
Počet řezných hran	z_v	2 [-]
Posuv na otáčku	f_n	0,1 [mm]
Řezná rychlost	v_{cv}	200 [m/min ⁻¹]
Nástrojový úhel hlavního ostří	κ_{rv}	70 [°]
Nástrojový ortogonální úhel čela	γ_0	30 [°]

Výpočty provedeny pomocí vzorců dostupných z [27].

Otáčky vřetena

$$n_v = \frac{10^3 \cdot v_{cv}}{\pi \cdot D_{Nv}} = \frac{10^3 \cdot 200}{\pi \cdot 6,15} = 10352 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \quad (8)$$

Posuv na břit

$$f_{zv} = \frac{f_n}{2} = \frac{0,1}{2} = 0,05 \text{ mm} \quad (9)$$

Specifická řezná síla

$$k_{cv} = k_{c1} \cdot (f_{zv} \cdot \sin(\kappa_{rv}))^{-m_c} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = 700 \cdot (0,05 \cdot \sin(90))^{-0,25} \cdot \left(1 - \frac{30}{100}\right) \quad (10)$$

$$k_{cv} = 1036,2 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Síla posuvu

$$F_{fv} = 0,5 \cdot k_{cv} \cdot \frac{D_{nv}}{2} \cdot f_n \cdot \sin(\kappa_{rv}) = 0,5 \cdot 1036,2 \cdot \frac{6,15}{2} \cdot 0,1 \cdot \sin(90) = 159,32 \text{ N} \quad (11)$$

Jmenovitý průměr třísky při vrtání do plného materiálu

$$A_v = \frac{f_n \cdot D_{nv}}{4} = \frac{0,1 \cdot 6,15}{4} = 0,154 \text{ mm}^2 \quad (12)$$

Řezná síla

$$F_{cv} = k_{cv} \cdot A_v = 1036,2 \cdot 0,154 = 159,6 \text{ N} \quad (13)$$

Řezný výkon

$$P_{cv} = \frac{F_{cv} \cdot v_{cv}}{12 \cdot 10^4} = \frac{159,6 \cdot 200}{12 \cdot 10^4} = 0,266 \text{ kW} \quad (14)$$

Krouticí moment

$$M_{kv} = \frac{P_{cv} \cdot 30 \cdot 10^3}{\pi \cdot n_v} = \frac{0,266 \cdot 30 \cdot 10^3}{\pi \cdot 10352} = 0,245 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (15)$$

9.2 Volba vřetena

Volba vřetena bude provedena na základě hodnot vypočtených v kapitole 9.1, které jsou shrnuty v tab. 11.

Tab. 11) Parametry pro volbu vřetena

Operace	Krouticí moment	Potřebný výkon	Otáčky vřetena
Frézování	0,75 N · m	0,6 kW	7958 ot · min ⁻¹
Vrtání	0,245 N · m	0,266 kW	10325 ot · min ⁻¹

Bylo vybráno vřeteno C41/47-C-DB-P-ER25-HY-2.2KW z nabídky firmy Tekmotor. Toto vřeteno má výkon 2,2 kW a pracuje v rozmezí 6000 až 24000 ot/min, mnělo by tedy pro naše potřeby být více než dostatečné. [18]

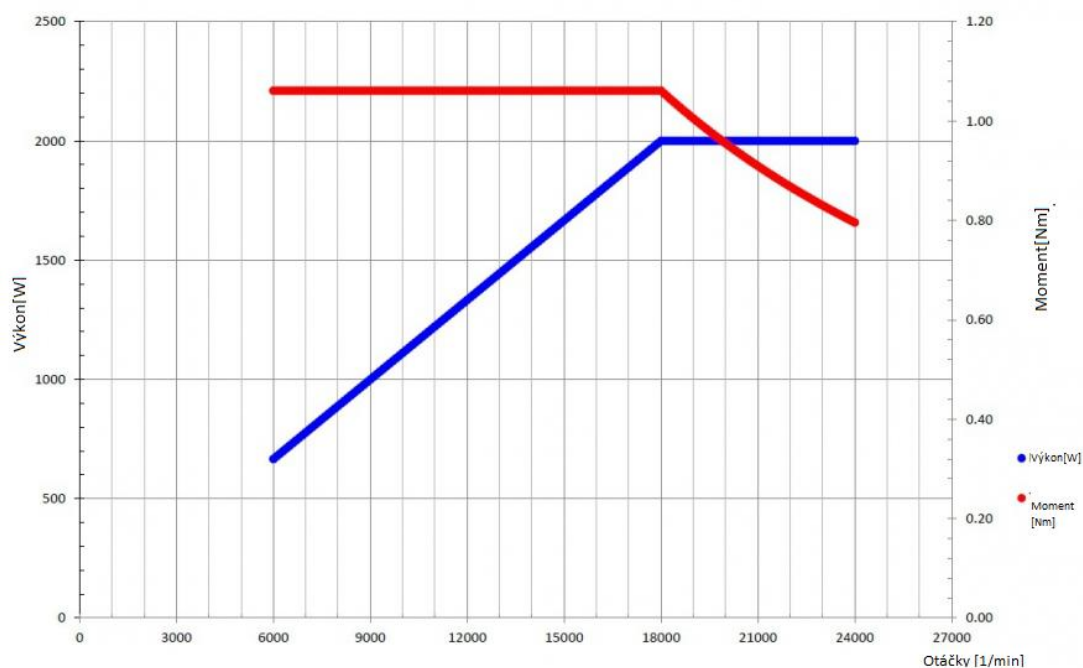


Obr. 18) Vřeteno C41/47-C-DB-P-ER25-HY-2.2KW [18]

Tab. 12) Parametry vřetena C41/47-C-DB-P-ER25-HY-2.2KW [18]

Parametr	Hodnota	jednotka
Výkon	2,2	[kW]
Otáčky	6000 - 24000	[min ⁻¹]
Napájení	220	[V]
Proud	9	[A]
Frekvence	300 - 400	[Hz]
Upínací rozhraní	ER25	[-]
Hmotnost	8,23	[kg]
Cena s VAT	799,99	[€]

Dále je třeba zkontrolovat zda bude vřeteno dosahovat dostatečného krouticího momentu za daných otáček, stanovených pro jednotlivé operace. Tato kontrola se provede podle výkonově-momentové charakteristiky (Obr. 19), která je dostupná na stránkách prodejce. Z příslušné charakteristiky vyplívá, že vřeteno při otáčkách okolo 8000 min⁻¹ (zaokrouhlená hodnota pro frézování) dosahuje hodnot krouticího momentu 1,1 Nm, což je dostatečně předimenzovaná hodnota.

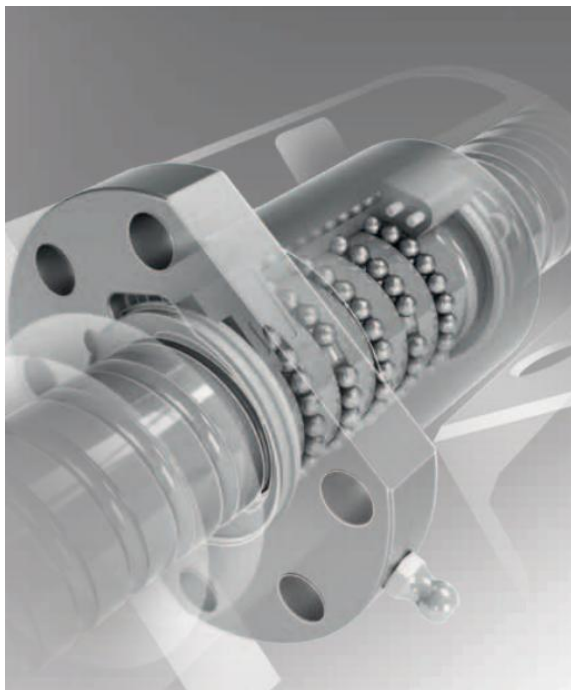


Obr. 19) Výkonově-momentová charakteristika vřetena C41/47-C-DB-P-ER25-HY-2.2KW [18]

Vřeteno je také třeba vybavit měničem frekvencí, aby se dalo připojit do normální elektrické sítě. Zvoleným měničem je A550-2S0022 -230V, který by měl splňovat rozsah frekvencí pro pohon vřetena. [19]

9.3 Pohonné systémy

K převodu otáčivého pohybu na přímočarý byly zvoleny kuličkové šrouby. Byl vybrán válcovaný kuličkový šroub s označením R12-05K4-FSCDIN od společnosti HIWIN. Třída přesnosti kuličkového šroubu zvolena IT5 s odchylkou max. 0,023 mm na 300 mm délky. [20]



Obr. 20) Kuličkový šroub s maticí [20]

Tab. 13) Parametry kuličkového šroubu [20]

Parametr	Značení	Hodnota
Jmenovitý průměr závitu	d	12 [mm]
Malý průměr závitu	d_k	9,9 [mm]
Stoupání	P	5 [mm]
Statická únosnost	C_0	12000 [N]
Dynamická únosnost	C_{dyn}	5500 [N]

9.3.1 Pohybový šroub osy Z

Kuličkový šroub bude na poháněném konci uložen pomocí domečku EK-08 od společnosti HIWIN. Druhý konec bude ponechán bez uložení. K upevnění k dalším součástem stroje bude použita jednoduchá přírubová matice s označením R12-05K4-FSCDIN a domeček pro matice GFD-12 [21], také od společnosti HIWIN. Konce budou opracovány dle doporučení výrobce.

Výpočty provedeny dle postupu, který je k nalezení v katalogu kuličkové šrouby dostupný z [20].

Kontrola otáček šroubu

Otáčky šroubu při rychloposuvu

$$n_{sz} = \frac{v_{sz} \cdot 10^3}{p} = \frac{3 \cdot 10^3}{5} = 600 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \quad (16)$$

Kritické otáčky

$$n_k = k_d \cdot \frac{d_k}{l_d^2} \cdot 10^8 = 0,42 \cdot \frac{9,9}{190^2} \cdot 10^8 = 11518 \text{ min}^{-1} \quad (17)$$

Maximální přípustné otáčky

$$n_{maxZ} = n_k \cdot 0,8 = 11518 \cdot 0,8 = 9214 \text{ min}^{-1} \quad (18)$$

$$n_{maxZ} > n_{sz} \Rightarrow 9214 > 600 \Rightarrow \textbf{Vyhovuje} \quad (19)$$

Kontrola Vzpěrné tuhosti

Maximální teoretická axiální síla

$$F_{kZ} = k_k \cdot \frac{d_k^4}{l_d^2} \cdot 10^5 = 0,26 \cdot \frac{9,9^4}{190^2} \cdot 10^5 = 6918 \text{ N} \quad (20)$$

Maximální dovolená axiální síla

$$F_{maxZ} = F_{kZ} \cdot 0,5 = 6918 \cdot 0,5 = 3459 \text{ N} \quad (21)$$

Axiální síla v ose Z

$$F_{AZ} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot g = 18,5 \cdot 9,81 = 181,485 \text{ N} \quad (22)$$

Kontrola vypočtených hodnot

$$F_{AZ} < F_{maxZ} \Rightarrow 181,485 < 3459 \Rightarrow \textbf{Vyhovuje} \quad (23)$$

Kontrola otáčkového faktoru

$$D_Z = n_{sz} \cdot d = 600 \cdot 12 = 7200 \quad (24)$$

$$D_Z < D_{Zmax} \Rightarrow 7200 < 70000 \Rightarrow \textbf{Vyhovuje} \quad (25)$$

Kontrola životnosti

Životnost v otáčkách

$$L = \left(\frac{C_{dyn}}{F_m} \right)^3 \cdot 10^6 = \left(\frac{5500}{181,485} \right)^3 \cdot 10^6 = 2,78 \cdot 10^{10} \text{ otáček} \quad (26)$$

Životnost v hodinách

$$L_h = \left(\frac{C_{dyn}}{F_m} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{n_{sz} \cdot 60} = \left(\frac{5500}{181,485} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{600 \cdot 60} = 7,7 \cdot 10^5 \text{ hodin} \quad (27)$$

Výpočet hnacího kroutícího momentu

$$M = \frac{F \cdot p}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} = \frac{181,485 \cdot 5}{2000 \cdot \pi \cdot 0,88} = 0,16 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (28)$$

Z výpočtu je vidět, že šroub je značně předimenzovaný, ale vzhledem k předpokládané nedokonalosti výpočtů vůči skutečným podmínkám a snaze zachovat dostupnost navazujících součástí bude šroub přijat za vyhovující.

9.3.2 Pohybový šroub osy Y

Kuličkový šroub bude na poháněném konci uložen pomocí domečku FK-08, druhý konec bude uložen pomocí domečku FF-06, od společnosti HIWIN. K upevnění k dalším součástem stroje bude použita jednoduchá přírubová matice s označením R12-05K4-FSCDIN

a domeček pro matice GFD-12 [21], také od společnosti HIWIN. Konce budou opracovány dle doporučení výrobce.

Výpočty provedeny dle postupu, který je k nalezení v katalogu kuličkové šrouby dostupný z [20].

Kontrola otáček šroubu

Otáčky šroubu při rychloposuvu

$$n_{sY} = \frac{v_{sY} \cdot 10^3}{P} = \frac{4,5 \cdot 10^3}{5} = 900 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \quad (29)$$

Kritické otáčky

$$n_k = k_d \cdot \frac{d_k}{l_d^2} \cdot 10^8 = 1,88 \cdot \frac{9,9}{400^2} \cdot 10^8 = 11633 \text{ min}^{-1} \quad (30)$$

Maximální přípustné otáčky

$$n_{maxY} = n_k \cdot 0,8 = 11633 \cdot 0,8 = 9306 \text{ min}^{-1} \quad (31)$$

$$n_{maxY} > n_{sY} \Rightarrow 9306 > 900 \Rightarrow \textbf{Vyhovuje} \quad (32)$$

Kontrola Vzpěrné tuhosti

Maximální teoretická axiální síla

$$F_{kY} = k_k \cdot \frac{d_k^4}{l_d^2} \cdot 10^5 = 2,05 \cdot \frac{9,9^4}{400^2} \cdot 10^5 = 12308 \text{ N} \quad (33)$$

Maximální dovolená axiální síla

$$F_{maxY} = F_{kY} \cdot 0,5 = 12308 \cdot 0,5 = 6154 \text{ N} \quad (34)$$

Axiální síla v ose Y

$$F_{AY} = F_{cv} = 159,6 \text{ N} \quad (35)$$

Kontrola vypočtených hodnot

$$F_{AY} < F_{maxY} \Rightarrow 159,6 < 6154 \Rightarrow \textbf{Vyhovuje} \quad (36)$$

Kontrola otáčkového faktoru

$$D_Y = n_{sY} \cdot d = 900 \cdot 12 = 10800 \quad (37)$$

$$D_Y < D_{Zmax} \Rightarrow 10800 < 70000 \Rightarrow \textbf{Vyhovuje} \quad (38)$$

Životnost

Životnost v otáčkách

$$L = \left(\frac{C_{dyn}}{F_{AY}} \right)^3 \cdot 10^6 = \left(\frac{5500}{159,6} \right)^3 \cdot 10^6 = 4,09 \cdot 10^{10} \text{ otáček} \quad (39)$$

Životnost v hodinách

$$L_h = \left(\frac{C_{dyn}}{F_{AY}} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{n_{sY} \cdot 60} = \left(\frac{5500}{159,6} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{900 \cdot 60} = 7,57 \cdot 10^5 \text{ hodin} \quad (40)$$

Výpočet hnacího kroutícího momentu

$$M = \frac{F \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} = \frac{159,6 \cdot 5}{2000 \cdot \pi \cdot 0,88} = 0,14 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (41)$$

Šroub opět předimenzovaný, ze stejných důvodů jako šroub osy Z bude shledán vyhovující.

9.3.3 Pohybový šroub osy X

Kuličkový šroub bude na poháněném konci uložen pomocí domečku EK-08, druhý konec bude uložen pomocí domečku EF-08, od společnosti HIWIN. K upevnění k dalším součástem stroje bude použita jednoduchá přírubová matice s označením R12-05K4-FSCDIN a domeček pro matice GFD-12 [21], také od společnosti HIWIN. Konce budou opracovány dle doporučení výrobce.

Výpočty provedeny dle postupu, který je k nalezení v katalogu kuličkové šrouby dostupný z [20].

Kontrola otáček šroubu

Otáčky šroubu při rychloposuvu

$$n_{sX} = \frac{v_{sY} \cdot 10^3}{P} = \frac{4,5 \cdot 10^3}{5} = 900 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1} \quad (42)$$

Kritické otáčky

$$n_k = k_d \cdot \frac{d_k}{l_d^2} \cdot 10^8 = 1,88 \cdot \frac{9,9}{500^2} \cdot 10^8 = 7444,8 \text{ min}^{-1} \quad (43)$$

Maximální přípustné otáčky

$$n_{maxX} = n_k \cdot 0,8 = 7444,8 \cdot 0,8 = 5956 \text{ min}^{-1} \quad (44)$$

$$n_{maxX} > n_{sX} \Rightarrow 5956 > 900 \Rightarrow \textbf{Vyhovuje} \quad (45)$$

Kontrola Vzpěrné tuhosti

Maximální teoretická axiální síla

$$F_{kX} = k_k \cdot \frac{d_k^4}{l_d^2} \cdot 10^5 = 2,05 \cdot \frac{9,9^4}{500^2} \cdot 10^5 = 7877 \text{ N} \quad (46)$$

Maximální dovolená axiální síla

$$F_{maxX} = F_{kX} \cdot 0,5 = 7877 \cdot 0,5 = 3938 \text{ N} \quad (47)$$

Axiální síla v ose X

$$F_{AX} = F_{cv} = 159,6 \text{ N} \quad (48)$$

Kontrola vypočtených hodnot

$$F_{AX} < F_{maxX} \Rightarrow 159,6 < 3938 \Rightarrow \textbf{Vyhovuje} \quad (49)$$

Kontrola otáčkového faktoru

$$D_X = n_{sX} \cdot d = 900 \cdot 12 = 10800 \quad (50)$$

$$D_X < D_{Zmax} \Rightarrow 10800 < 70000 \Rightarrow \textbf{Vyhovuje} \quad (51)$$

Životnost

Životnost v otáčkách

$$L = \left(\frac{C_{dyn}}{F_{AX}} \right)^3 \cdot 10^6 = \left(\frac{5500}{159,6} \right)^3 \cdot 10^6 = 4,09 \cdot 10^{10} \text{ otáček} \quad (52)$$

Životnost v hodinách

$$L_h = \left(\frac{C_{dyn}}{F_{AX}} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{n_{sX} \cdot 60} = \left(\frac{5500}{159,6} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{900 \cdot 60} = 7,57 \cdot 10^5 \text{ hodin} \quad (53)$$

Výpočet hnacího kroutícího momentu

$$M = \frac{F \cdot P}{2000 \cdot \pi \cdot \eta} = \frac{159,6 \cdot 5}{2000 \cdot \pi \cdot 0,88} = 0,14 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (54)$$

Šroub opět předdimenzovaný, ze stejných důvodů jako šroub osy Z, bude shledán vyhovující.

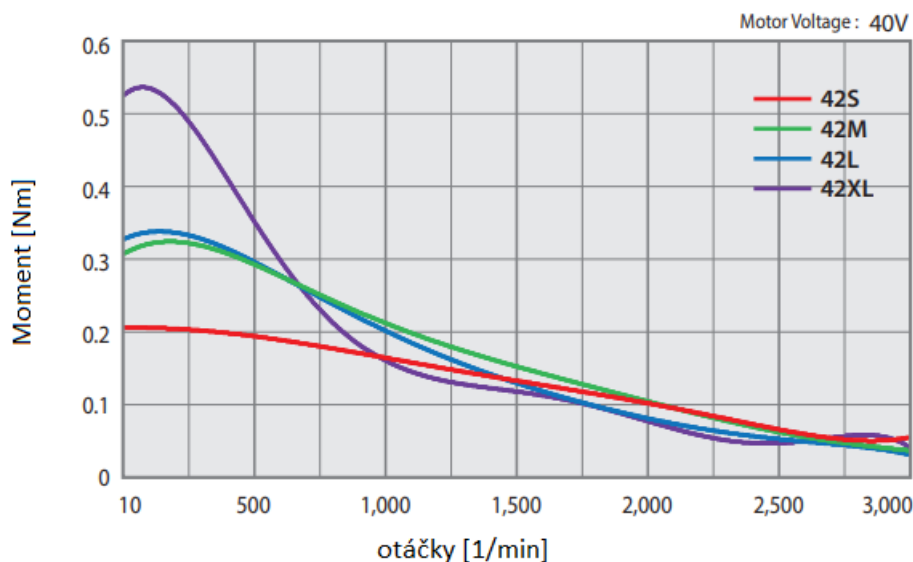
9.3.4 Volba motorů

Pro pohon jednotlivých os byly vybrány krokové motory RZI-SERVO ST od společnosti RAVEO. Jedná se o motory série Ezi-SERVO, které představují spojení vícefázového krokového motoru se zpětnou vazbou. Hlavní výhodou této technologie je plynulý pohyb, vysoký přídržný moment, přesné polohování a příznivá cena. [22]



Obr. 21) Krokové motory Ezi-SERVO ST [22]

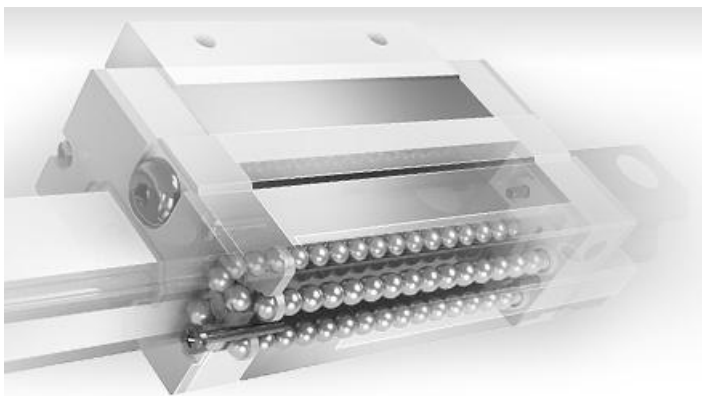
Dle hodnot vypočtených ve vztazích (28), (41) a (54), byl vybrán krokový motor Ezi-SERVO ST-42M. Který by podle jeho momentové charakteristiky (obrázek 22.) měl nabízet dostatečný moment za určených otáček.



Obr. 22) Momentové charakteristika pro motory Ezi-SERVO-42 [23]

9.4 Vedení pojezdových os

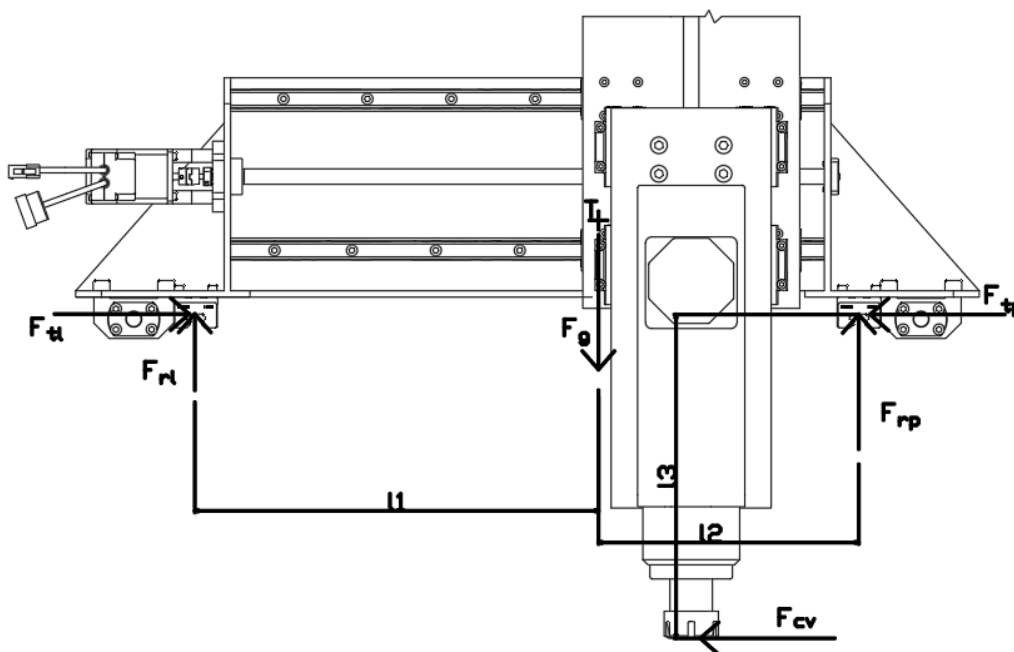
K vedení jednotlivých os bylo zvoleno kuličkové vedení. V návrh je použito vedení od firmy HIWIN. Použité komponenty jsou vozík HGH 15 CA pro montáž shora, vozík HGW 15 CC pro montáž zespodu a kolejnice HGR15R pro montáž shora. Uložení vodících kolejnic na místo bude dle doporučení výrobce realizováno pomocí referenční hrany. [25]



Obr. 23) Kuličkové vedení [25]

9.4.1 Kontrola vedení

Kontrolní výpočet byl proveden pouze pro nejvíce zatížené uložení tedy pro vedení osy X. Výpočet proveden s podporou katalogu lineární vedení, který je dostupný z [20]. Hmotnost a souřadnice těžiště určeny pomocí programu Autodesk Inventor.



Obr. 24) Schéma pro výpočet zatížení

Tab. 14) Hodnoty pro výpočet zatížení

Parametr	Hodnota
Gravitační síla	324,9 N
Řezná síla od vrtání	159,6 N
Délka l_1	0,312 m
Délka l_2	0,209 m
Délka l_3	0,197 m

Rovnováha sil v ose Y

$$F_{tl} - F_{tp} - F_{cv} = 0 \quad (55)$$

Rovnováha sil v ose Z

$$F_{rl} + F_{rp} - F_g = 0 \quad (56)$$

Moment k levému uložení

$$F_{rp} \cdot (l_1 + l_2) - F_{cv} \cdot l_3 - F_g \cdot l_1 = 0 \quad (57)$$

Radiální síla pro pravé uložení [vyjádřena z rovnice (57)]

$$F_{rp} = \frac{F_{cv} \cdot l_3 + F_g \cdot l_1}{l_1 + l_2} = \frac{159,6 \cdot 0,197 + 324,9 \cdot 0,312}{0,312 + 0,209} = 245,9 \text{ N} \quad (58)$$

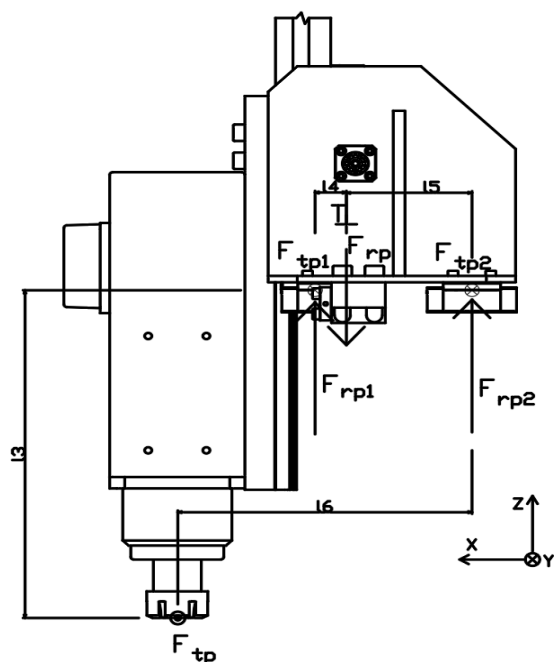
Radiální síla pro levé uložení [vyjádřena z rovnice (56)]

$$F_{rl} = F_g - F_{rp} = 324,9 - 245,9 = 79 \text{ N} \quad (59)$$

Pro síly působící v tečném směru je uvažována stejná velikost jak pro levou tak i pravou stranu uložení. Vyjádřením z rovnice (55) dostaneme vztah pro výpočet jejich velikosti:

$$F_{tl} = F_{tp} = \frac{F_{cv}}{2} = \frac{159,6}{2} = 79,8 \text{ N} \quad (60)$$

Výpočet jednotlivých zatížení vozíků na pravé straně



Obr. 25) Schéma pro výpočty zatížení pravé strany

Tab. 15) Parametry pro výpočet zatížení pravé strany

Parametr	Hodnota
Radiální síla působící na pravou stranu	245,9 N
Tečná síla působící na pravou stranu	79,8 N
Délka l_4	0,021 m
Délka l_5	0,086 m
Délka l_6	0,2 m

Rovnováha sil v ose Y

$$F_{tp1} + F_{tp2} - F_{tp} = 0 \quad (61)$$

Rovnováha sil v ose Z

$$F_{rp2} + F_{rp1} - F_{rp} = 0 \quad (62)$$

Moment kolem osy Y k vozíku 1

$$F_{rp2} \cdot (l_4 + l_5) - F_{rp} \cdot l_4 = 0 \quad (63)$$

Moment kolem osy Z k vozíku 1

$$F_{tp2} \cdot (l_4 + l_5) - F_{tp} \cdot l_6 = 0 \quad (64)$$

Radiální síla působící na vozík 2 [vyjádřena z rovnice (63)]

$$F_{rp2} = \frac{F_{rp} \cdot l_4}{l_4 + l_5} = \frac{245,9 \cdot 0,021}{0,021 + 0,086} = 48,26 \text{ N} \quad (65)$$

Radiální síla působící na vozík 1 [vyjádřena z rovnice (62)]

$$F_{rp1} = F_{rp} - F_{rp2} = 245,9 - 48,26 = 197,6 \text{ N} \quad (66)$$

Tečná síla působící na vozík 2 [vyjádřena z rovnice (64)]

$$F_{tp2} = \frac{F_{tp} \cdot l_6}{(l_4 + l_5)} = \frac{79,8 \cdot 0,2}{0,021 + 0,086} = 149,16 \text{ N} \quad (67)$$

Tečná síla působící na vozík 1 [vyjádřena z rovnice (61)]

$$F_{tp1} = F_{tp} - F_{tp2} = 79,8 - 149,16 = -63,36 \text{ N} \quad (68)$$

Statické ekvivalentní zatížení

$$P_S = |F_{rp1}| + |F_{tp1}| = |197,6| + |-63,36| = 260,96 \text{ N} \quad (69)$$

Výpočet životnosti vedení

Tab. 16) Parametry pro výpočet životnosti [25]

Parametr	Hodnota
Dynamická únosnost	$C_{dynv} = 11380 \text{ N}$
Maximální rychlost posuvu	$v_{pmax} = 4,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Faktor tvrdosti	$f_H = 1$
Faktor teploty	$f_T = 1$
Faktor zatížení	$f_W = 2$

Výpočet životnosti v metrech

$$L_m = \left(\frac{f_H \cdot f_T \cdot C_{dynv}}{f_W \cdot P_S} \right)^3 \cdot 50000 = \left(\frac{1 \cdot 1 \cdot 11380}{2 \cdot 260,96} \right)^3 \cdot 50000 = 5,1 \cdot 10^8 \text{ m} \quad (70)$$

Výpočet životnosti v hodinách

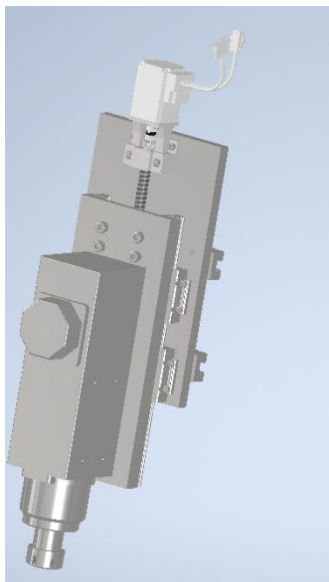
$$L_h = L_{vm} \cdot \frac{100000}{v_{pmax} \cdot 60} = 5,1 \cdot 10^8 \cdot \frac{100000}{4,5 \cdot 60} = 1,89 \cdot 10^{11} \text{ h} \quad (71)$$

Vedení je vhodné dostatečně předimenzovat. Z vypočtených hodnot je vidět že uložení je značně předimenzováno, ale tyto výpočty byly provedeny podle základních vzorců a za ideálních podmínek, lze tedy předpokládat, že skutečná životnost vedení bude menší. Z toho důvodu bude vedení pro tento návrh shledáno vyhovující.

9.5 Vřeteník a saně

Vřeteník bude tvořen z ocelového výpalku, který bude obroben pro uložení matice pro pohybový šroub a vřetena. Na straně k saním bude vyztužen ocelovými hranoly, které budou zároveň sloužit jako podpora pro vodící lišty.

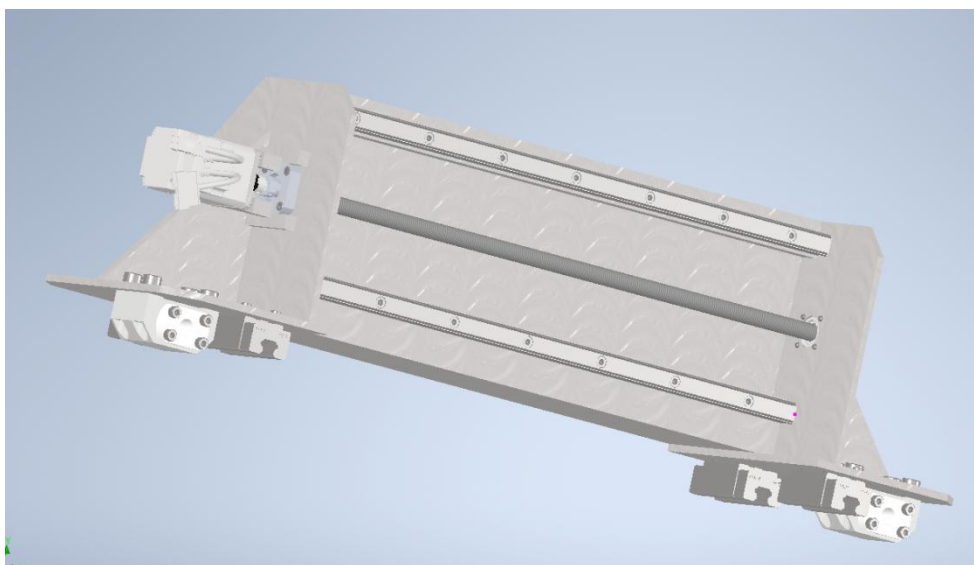
Saně stejně jako vřeteník bude tvořit ocelový výpalek s obrobenými plochami pro uložení pohybového šroubu osy Z, domečku pro motor, matice pro pohybový šroub a vodících vozíků osy Z a Y.



Obr. 26) Vřeteník a saně

9.6 Příčník

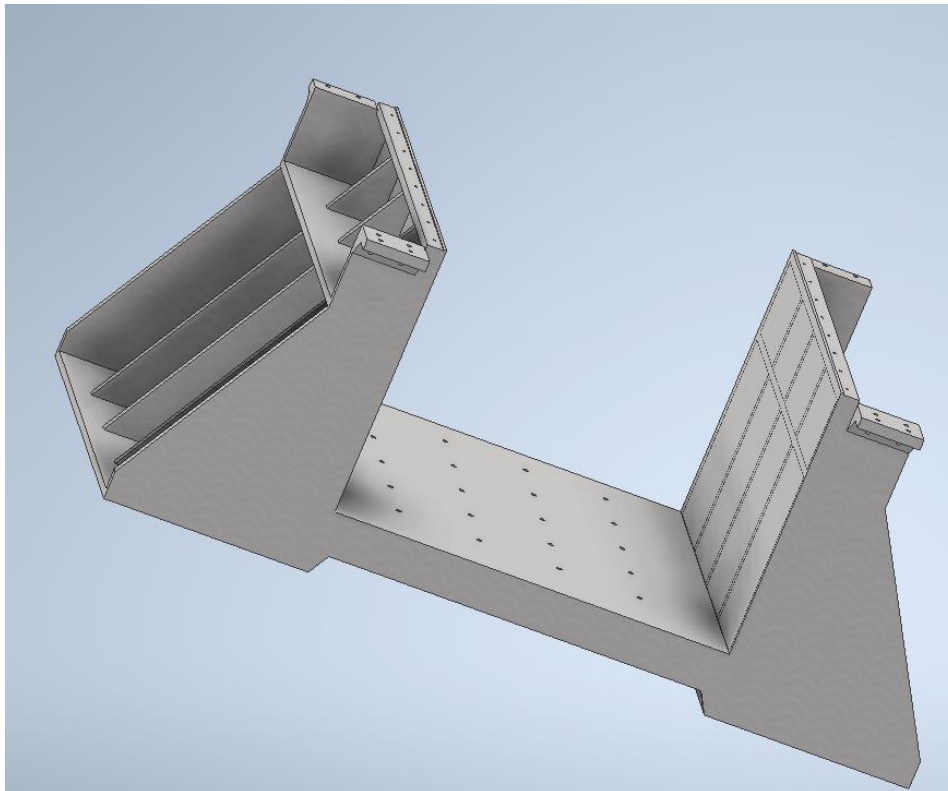
Příčník konstruován jako svařenec z jednotlivých ocelových dílců. Součást bude po svaření tepelně upravena pro snížení vnitřního pnutí a následně budou obrobena plochy pro uložení domečků pro pohybový šroub osy Y, matice pro pohybový šroub osy X a vodící vozíky osy X. Příčník bude vyztužen pomocí ocelových hranolů, které budou opět plnit i podporu pro vodící lišty osy Y.



Obr. 27) Příčník

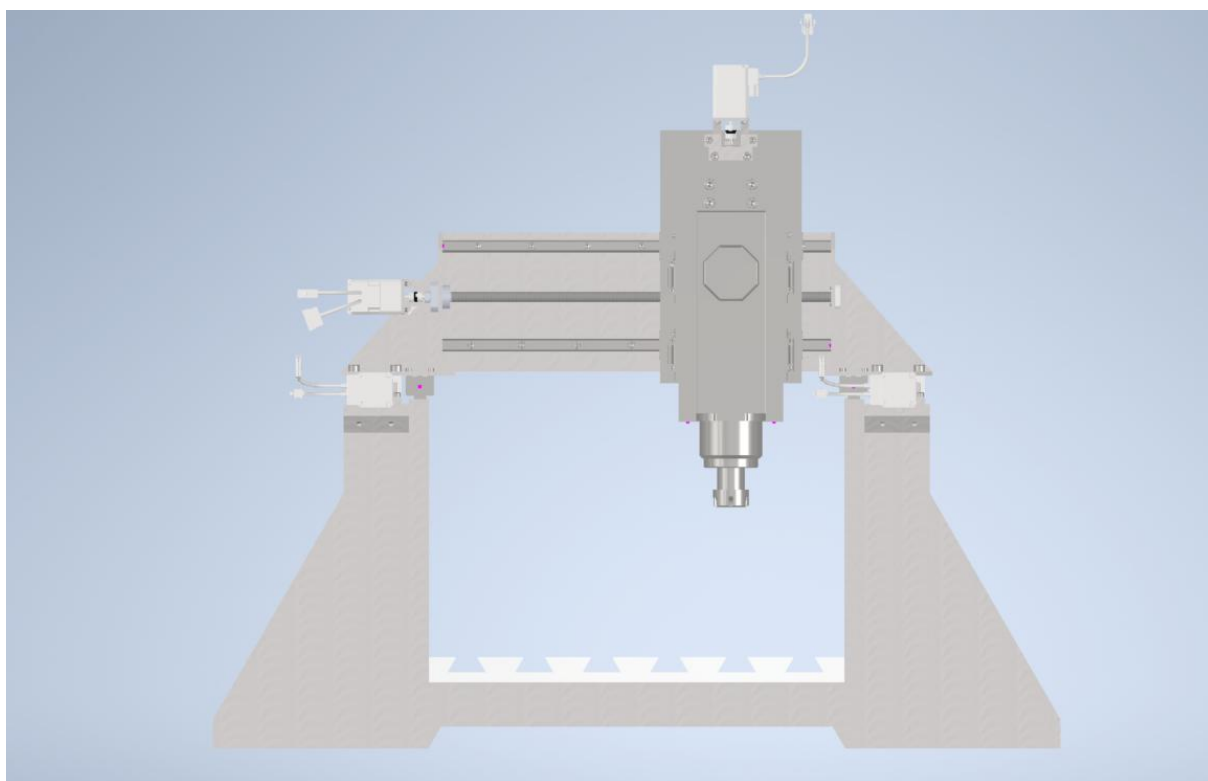
9.7 Rám stroje

Konstruován jako svařenec z jednotlivých ocelových dílců. Obrobené plochy pro uložení vodících lišt pro vedení osy X, uložení domečků pro pohybové šrouby osy X, uložení domečků pro motory pro pohon osy X a uchycení stolu. Konstrukce rámu vybavena žebrováním jako podpěry pro vodící lišty a na zvýšení tuhosti sestavy. Boky mezi žebrováním a místem pro pracovní stůl, zakryty pomocí ocelového plechy pro snížení rizika odlétávání třísek.

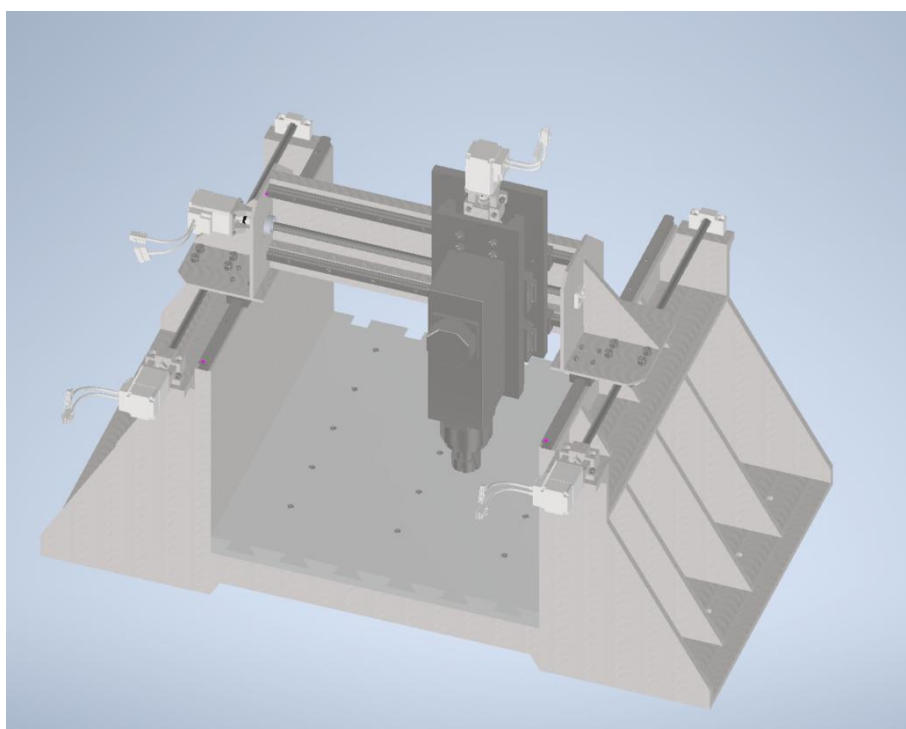


Obr. 28) Rám stroje

9.8 Celkový pohled



Obr. 29) Pohled zepředu



Obr. 30) pohled z úhlu

10 NÁVRHY BEZPEČNOSTNÍCH PRVKŮ

Bezpečnost zkonstruovaného stroje je velice důležitou součástí celkového návrhu. Bezpečnostní prvky snižují rizika poranění obsluhy, případné nebezpečí pro okolní prostory a některé chrání i stroj samotný před poškozením. Zde zmíněné bezpečnostní prvky nebudou součástí výkresu sestavy.

10.1 Krytování kuličkových šroubů

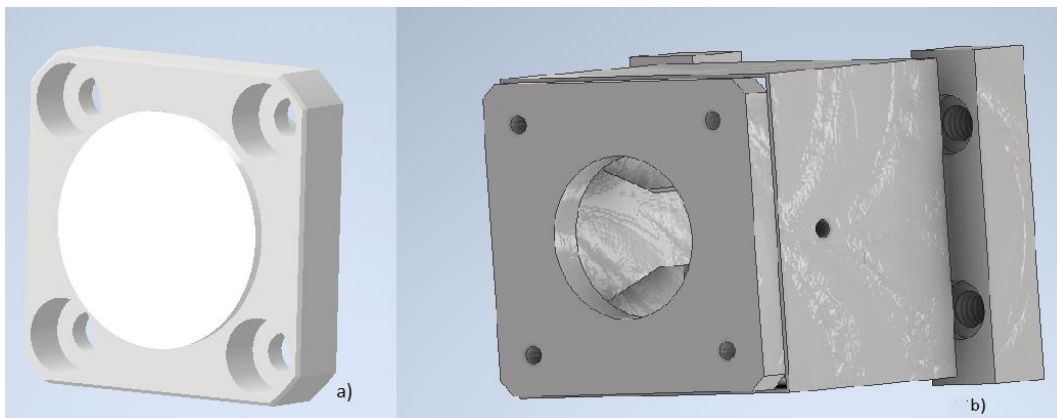
Jako bezpečnostní kryty kuličkových šroubů osy X a Y lze využít spirálové kryty nebo krycí měchy. Tyto krycí prvky zabrání kontaktu obsluhy s rotujícím kuličkovým šroubem a také chrání kuličkový šroub před většími nečistotami.



Obr. 31) Krycí měch pro kuličkové šrouby [26]

10.2 Krytování ložiskových domečků

U domečků pro uložení volných konců kuličkových šroubů bude použita plastová ucpávka k zakrytí volného konce. Pro domečky pro pevné uložení, u kterých se dále nachází uložení motorů, bude použit plechový kryt, který zakryje celý prostor mezi domečkem a přírubou motoru.



Obr. 32) a) návrh krytu volného konce b) krytování domečků pro uložení motorů

10.3 Ostatní bezpečnostní prvky

Jedním z těchto přídatných krytů jsou “dvířka” z plexiskla, které by sloužili k uzavření pracovního prostoru, aby se zabránilo odlétávání třísek.

Dalším typem je tlačítko pro nouzové zastavení stroje a vodící lišty pro kabeláž, aby se zabránilo zamotání kabelů do pohyblivých částí stroje

11 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Navrhnutý stroj má dostatečný výkon a rozměry pro splnění zvolených požadavků. Ovšem některé části stroje jsou silně předimenzovány. Tyto části byly pro návrh shledány přijatelné, ale z ekonomického hlediska to není příliš příznivé.

Hlavním problémem při návrhu CNC frézky je správná optimalizace pohybové soustavy, tak aby nedošlo k příliš velkému předimenzování jednotlivých součástí. Druhým problémem je optimalizace rámu a ostatních nosných částí stroje, z důvodu snížení hmotnosti a zároveň zachování tuhosti sestavy.

Při optimalizace pohybových soustav dochází k problému spojeným s neúplnou znalostí provozních podmínek. Dále je také třeba zachovat kompatibilitu jednotlivých součástí, aby byla zajištěna jednoduchá sestavitelnost a případná zaměnitelnost jednotlivých součástí.

Optimalizaci nosné sestavy lze provést pomocí profesionálních programů, které jsou schopny spočítat výsledné deformace na nosné prvky stroje a určit, které místa lze dále odlehčovat a které naopak vyztužit.

12 ZÁVĚR

Cílem práce bylo seznámit se s postupy návrhu CNC frézky a následně navrhnout modelářskou CNC frézku.

V první části práce jsme se seznámili s kinematikami jednotlivých konstrukcí, riziky, která jsou spojena s provozem těchto strojů a operačními systémy, které se dají využít k provozu modelářské CNC frézy. Součástí práce je také průzkum a zhodnocení současné situace na trhu s těmito stroji.

V druhé části jsme se zaměřili na návrh vlastní CNC frézky. Návrh se skládá z vytvoření několika konceptuálních možností na návrh stroje. Následovalo definování požadavků pro stroj, jako je například obráběný materiál. Dle zvolených parametrů byla následně vybrána vhodná varianta z konceptuálních návrhů.

Zvolená varianta byla následně řešena detailněji. Byla provedena volba a následně kontrolní výpočty pro pohybové mechanismy, vedení jednotlivých os, motory a vřeteno. Součástí návrhu je také celkový rám, jeho odlehčení a bezpečnostní kryty. Součástí práce je i výkres sestavy navrhnutého zařízení.

Vzhledem k parametrům zkonstruovaného zařízení, je tento stroj vhodný pro náročné modeláře, kteří uplatní jeho schopnost obrábění hliníku a ostatních měkkých kovů, případně pro kusovou výrobu v oblasti hliníkových obrobků.

13 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů IV.0*. Praha: MM publishing, 2018. MM speciál. ISBN 978-80-906310-8-3.
- [2] BORSKÝ, Václav. *Obráběcí stroje*. Brno: VUT, 1992. MM speciál. ISBN 80-214-0470-1.
- [3] KAUFMAN, Petr. PROFIKA s.r.o. *Profika.cz* [online]. 2014 [cit. 2021-04-01]. Dostupné z: <https://www.profika.cz/cnc-ridici-system>
- [4] *Profirobot.cz* [online]. [cit. 2021-04-01]. Dostupné z: <http://profirobot.cz/grbl-pro-arduino-a-genuino/>
- [5] Nexfangel Solutions LLC. *machsupport.com* [online]. [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: <https://www.machsupport.com/software/mach3/>
- [6] *Cncworld.cz* [online]. [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: https://www.cncworld.cz/software-mach3-p-117.html?gclid=CjwKCAjwjbCDBhAwEiwAiudBywKSiIImyTX_Nc6ea7I8liGrp2F0f68wBfRoYQYXp_iBxhUd-7VhbxoC8ssQAvD_BwE
- [7] *Linuxcnc.org* [online]. [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: <http://linuxcnc.org/>
- [8] KRÁTKÝ, L. *Řídicí systém Armote na CNC frézkách Numco* [online]. 13. 05. 2019 [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: <https://www.bow.cz/clanky/ridici-system-armote-na-cnc-frezkach-numco-13>
- [9] *Cncworld.cz* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.cncworld.cz/cnc-frzka-3020-t-3d-p-73.html>
- [10] *Cncworld.cz* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.cncworld.cz/cnc-frzka-3040-z-dq-3d4d-p-74.html>
- [11] *Jprint3d.cz* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <http://www.jprint3d.cz/e-shop/cnc-frezy-a-gravirovaci-stroje/hobby-cnc-gravirovaci-frezka-v303-300x250x50mm>
- [12] Caucau.cz. *CauCau* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: https://www.caucau.cz/cnc_stroje/caucau-cnc-frezka-kompas-h400basic--300x400x120mm/
- [13] Caucau.cz. *CauCau* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: https://www.caucau.cz/cnc_stroje/caucau-cnc-frezka-kompas-h400gs-kit/
- [14] BORSKÝ, Václav. *Základy stavby obráběcích strojů*. Brno: VUT Brno, 1991. ISBN 80-214-0361-6.
- [15] SANDVIK coromat. *Sandvik.coromant.com* [online]. [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/workpiece-materials.aspx>
- [16] SANDVIK coromat. *Sandvik.coromant.com* [online]. [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/pages/search15products.aspx?tpcleaf=MILSQ_SLD_COR&q=%22CoroMill%C2%AE%20Plura%20solid%20carbide%20end%20mill%20for%20large%20chip%20removal%22
- [17] SANDVIK coromat. *Sandvik.coromant.com* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/products/pages/productdetails.aspx?c=460.1-0615-031A1-XM%20GC34>
- [18] Damen cnc. *Damencnc.com* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.damencnc.com/en/electrospindel-c41-47-c-db-p-er25-hy-2-2kw-18-000-24-000rpm/a14?c=32>

-
- [19] Vybo elektric. *Vyboelectric.cz* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://vyboelectric.cz/obchod/22kw-frekvencni-menic-standard-a550-2s0022-230v/>
- [20] HIWIN s.r.o. *Www.hiwin.cz* [online]. [cit. 2021-4-26]. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/cz/download>
- [21] HIWIN s.r.o. *Hiwin.cz* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: https://www.hiwin.cz/cz/produkty/kulickove-srouby/valcovane-srouby/53_jednoduchamatice-prirubova-fsc-fsi-dle-din-69051
- [22] RAVEO s.r.o. *Raveo.cz* [online]. [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: <https://www.raveo.cz/krokové-motory-ezi-servo>
- [23] RAVEO s.r.o. *Raveo.cz* [online]. [cit. 2021-5-7]. Dostupné z: https://www.raveo.cz/sites/default/files/download/2020/11/fastech_ezi-servo_st_catalog_2020_en_v20-08.pdf
- [24] Heidenhain s.r.o. *Heidenhain.cz* [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty/
- [25] HIWIN s.r.o. *Hiwin.cz* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/kulickove-vedeni/rada-hg-qh>
- [26] HENLICH s.r.o. *Lin-tech.hennlich.cz* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://lin-tech.hennlich.cz/produkty/krytovani-stroju-kryci-mechy-kruhove-8272/zakladni-typy-pripojeni-1.html>
- [27] SANDVIK Coromat. *Sandvik.coromant.com* [online]. [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/pages/default.aspx>

14 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

Al	Hliník
Atd.	A tak dále
CNC	Číslicové řízení pomocí počítače
DPH	Daň z přidané hodnoty
GDF	Formát souboru
HB	Tvrdost dle Brinella
LPT	Paralelní port
MPG	Typ ručního ovladače
NCP	Formát souboru
Obr.	Obrázek
PC	Osobní počítač
PVC	Polyvinylchlorid
RS232	Sériový port
Si	Křemík
Tab.	Tabulka
USB	Univerzální sériová sběrnice

Značka	Jednotka	Parametr
a_e	[mm]	Šířka záběru
a_p	[mm]	Hloubka záběru
A_v	[mm ²]	Jmenovitý průměr třísky při vrtání do plného materiálu
C_0	[N]	Statická únosnost kuličkového šroubu
C_{dyn}	[N]	Dynamická únosnost kuličkového šroubu
d	[mm]	Jmenovitý průměr závitu kuličkového šroubu
d_k	[mm]	Malý průměr závitu kuličkového šroubu
D_X	[-]	Otáčkový faktor osy X
D_Y	[-]	Otáčkový faktor osy Y
D_Z	[-]	Otáčkový faktor osy Z
D_{Zmax}	[-]	Maximální otáčkový faktor
D_{Nf}	[mm]	Průměr nástroje pro frézování
D_{Nv}	[mm]	Řezný průměr nástroje pro vrtání
F_{AX}	[N]	Axiální síla v ose X
F_{AY}	[N]	Axiální síla v ose Y
F_{AZ}	[N]	Axiální síla v ose Z
F_{cf}	[N]	Řezná síla pro frézování

F_{cv}	[N]	Řezná síla pro vrtání
f_H	[-]	Faktor tvrdosti
F_{kX}	[N]	Maximální teoretická axiální síla osy X
F_{kY}	[N]	Maximální teoretická axiální síla osy Y
F_{kZ}	[N]	Maximální teoretická axiální síla osy Z
F_{fv}	[N]	Síla posuvu pro vrtání
F_{maxX}	[N]	Maximální dovolená axiální síla v ose X
F_{maxY}	[N]	Maximální dovolená axiální síla v ose Y
F_{maxZ}	[N]	Maximální dovolená axiální síla v ose Z
f_n	[mm]	Posuv na otáčku pro vrtání
F_{rp}	[N]	Radiální síla na vedení
F_{rp1}	[N]	Radiální síla na vozík 1
F_{rp2}	[N]	Radiální síla na vozík 2
f_T	[-]	Faktor teploty
F_{tp}	[N]	Tečná síla na vedení
F_{tp1}	[N]	Tečná síla na vozík 1
F_{tp2}	[N]	Tečná síla na vozík 2
f_W	[-]	Faktor zatížení
f_z	[mm]	Posuv na zub
f_{zv}	[mm]	Posuv na břit
g	[m/s ²]	Gravitační zrychlení
h_m	[mm]	Hloubka třísky
k_{c1}	[N/mm ²]	Měrná řezná síla
k_{cf}	[N/mm ²]	Specifická řezná síla pro frézování
k_{cv}	[N/mm ²]	Specifická řezná síla pro vrtání
k_d	[-]	Součinitel uložení kuličkového šroubu
k_k	[-]	Součinitel uložení kuličkového šroubu
L	[ot/min]	Životnost v otáčkách
L_h	[h]	Životnost v hodinách
l_d	[mm]	Délka kuličkového šroubu
L_m	[m]	Životnost v metrech
M	[Nm]	Potřebný hnací moment
m_c	[-]	Konstanta měrné řezné síly
M_{kf}	[Nm]	Krouticí moment pro frézování
M_{kv}	[Nm]	Krouticí moment pro vrtání
n_f	[ot/min]	Otáčky vřetena při frézování
n_k	[ot/min]	Kritické otáčky kuličkového šroubu
n_{maxX}	[ot/min]	Maximální přípustné otáčky kuličkového šroubu osy X

$n_{\max Y}$	[ot/min]	Maximální přípustné otáčky kuličkového šroubu osy Y
$n_{\max Z}$	[ot/min]	Maximální přípustné otáčky kuličkového šroubu osy Z
n_v	[ot/min]	Otáčky vřetena při vrtání
n_{sX}	[ot/min]	Otáčky kuličkového šroubu při rychloposuvu osy X
n_{sY}	[ot/min]	Otáčky kuličkového šroubu při rychloposuvu osy Y
n_{sZ}	[ot/min]	Otáčky kuličkového šroubu při rychloposuvu osy Z
P	[mm]	Stoupání
P_{cv}	[kW]	Potřebný výkon vřetena pro vrtání
P_f	[kW]	Potřebný výkon vřetena pro frézování
P_S	[N]	Statické ekvivalentní zatížení
T_v	[HB]	Tvrdost materiálu
v_{cf}	[m/min]	Řezná rychlost pro frézování
v_{cv}	[m/min]	Řezná rychlost pro vrtání
v_f	[mm/min]	Rychlost posuvu pro frézování
v_{pmax}	[m/min]	Maximální rychlost posuvu vedení
v_{sX}	[m/min]	Rychlost posuvu v ose X
v_{sY}	[m/min]	Rychlost posuvu v ose Y
v_{sZ}	[m/min]	Rychlost posuvu v ose Z
Z_{Nf}	[-]	Počet řezných hran frézování
Z_v	[-]	Počet řezných hran vrtání
γ_0	[°]	Nástrojový ortogonální úhel čela
κ_{rf}	[°]	Nástrojový úhel hlavního ostří pro frézování
κ_{rv}	[°]	Nástrojový úhel hlavního ostří pro vrtání
η	[%]	Účinnost

14.1 Seznam tabulek

Tab. 1) Parametry stroje V303 [11]	18
Tab. 2) Parametry stroje 3020 T 3D [9].....	19
Tab. 3) Parametry stroje 3040 Z-DQ 3D(4D) [10]	20
Tab. 4) Parametry stroje KOMPAS H400BASIC-710W [12]	21
Tab. 5) Parametry stroje KOMPAS H400GS KIT [13].....	22
Tab. 6) Zvolené parametry.....	25
Tab. 7) Volba návrhu	26
Tab. 8) Specifikace slitiny Al-Si, Si \geq 13% [15]	26
Tab. 9) Parametry pro výpočet řezných sil a momentů pro frézování [16]	27
Tab. 10) Parametry pro výpočet sil a momentů od vrtání [17]	28
Tab. 11) Parametry pro volbu vřetena	29
Tab. 12) Parametry vřetena C41/47-C-DB-P-ER25-HY-2.2KW [18].....	30
Tab. 13) Parametry kuličkového šroubu [20]	31
Tab. 14) Hodnoty pro výpočet zatížení	37

Tab. 15) Parametry pro výpočet zatížení pravé strany	38
Tab. 16) Parametry pro výpočet životnosti [25]	39

14.2 Seznam obrázků

Obr. 1) Principy frézování [2]	12
Obr. 2) Schéma provedení horní gantry	13
Obr. 3) Schéma provedení spodní gantry	13
Obr. 4) Schéma provedení s posuvným stolem	14
Obr. 5) Prostředí programu Mach 3 [5]	16
Obr. 7) Řídící stanice TNC 640 [24]	17
Obr. 6) Hlavní okno programu při obrábění [8]	17
Obr. 8) Hobby gravírovací frézka V303 [11]	18
Obr. 9) CNC Frézka 3020 T 3D [9]	19
Obr. 10) CNC Frézka 3040 Z-DQ 3D(4D) [10]	20
Obr. 11) CNC Frézka KOMPAS H400BASIC-710W [12]	21
Obr. 12) CNC Frézka KOMPAS H400GS KIT [13]	22
Obr. 13) Porovnání výkonů jednotlivých strojů	23
Obr. 14) Porovnání rozsahu posuvů v jednotlivých osách	23
Obr. 15) Poměry Cena/Výkon pro jednotlivé stroje	24
Obr. 16) monolitní karbidová stopková fréza CoroMill 2S221-1000-150-NG H10F [16]	27
Obr. 17) Vrták 460.1-0615-031A1-XM GC34 [17]	28
Obr. 18) Vřeteno C41/47-C-DB-P-ER25-HY-2.2KW [18]	29
Obr. 19) Výkonově-momentová charakteristika vřetena C41/47-C-DB-P-ER25-HY- 2.2KW [18]	30
Obr. 20) Kuličkový šroub s maticí [20]	31
Obr. 21) Krokové motory EZI-SERVO ST [22]	35
Obr. 22) Momentové charakteristika pro motory Ezi-SERVO-42 [23]	35
Obr. 23) Kuličkové vedení [25]	36
Obr. 24) Schéma pro výpočet zatížení	36
Obr. 25) Schéma pro výpočty zatížení pravé strany	38
Obr. 26) Vřeteník a saně	40
Obr. 27) Příčnick	40
Obr. 28) Rám stroj	41
Obr. 29) Pohled zepředu	42
Obr. 30) pohled z úhlu	42
Obr. 31) Krycí měch pro kuličkové šrouby [26]	43
Obr. 32) a) návrh krytu volného konce b) krytování domečků pro uložení motorů	43

15 SEZNAM PŘÍLOH

Výkres sestavy

1-BP-01/00